

VTT Technical Research Centre of Finland

Selvitys puunhuollon muuttuviin tarpeisiin vastaavien koneketjujen ja metsänhoidon kehittämisestä

Raitila, Jyrki; Kokkonen, Petteri; Lehtinen, Hannu; Tukeva, Pirkka; Kortelainen, Helena; Haapalainen, Mika; Linnekoski, Juha; Pasonen, Riku

Published: 15/10/2018

Document Version
Publisher's final version

[Link to publication](#)

Please cite the original version:

Raitila, J., Kokkonen, P., Lehtinen, H., Tukeva, P., Kortelainen, H., Haapalainen, M., Linnekoski, J., & Pasonen, R. (2018). *Selvitys puunhuollon muuttuviin tarpeisiin vastaavien koneketjujen ja metsänhoidon kehittämisestä*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Selvitys No. VTT-M-05053-18

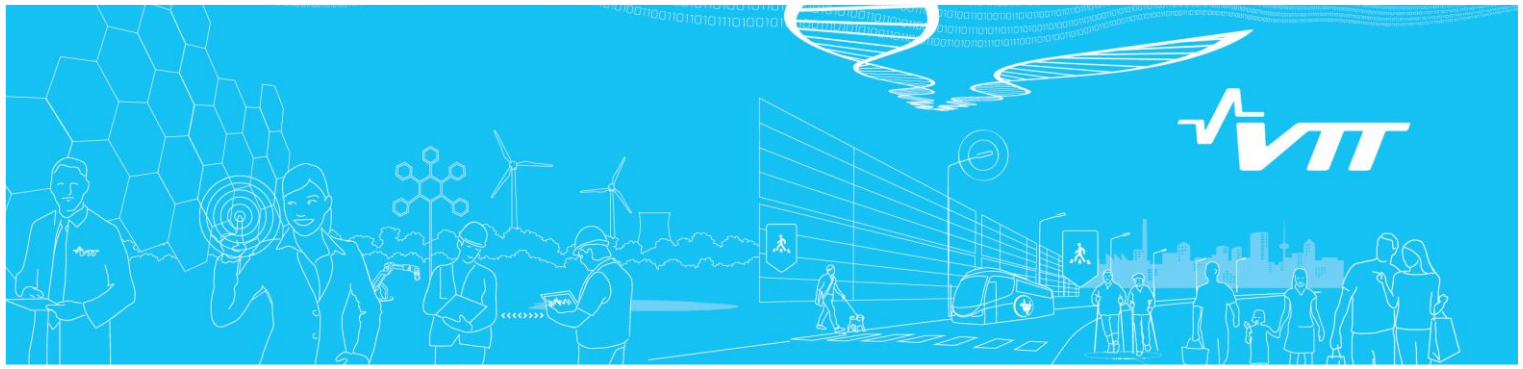


VTT
<http://www.vtt.fi>
P.O. box 1000FI-02044 VTT
Finland

By using VTT's Research Information Portal you are bound by the following Terms & Conditions.

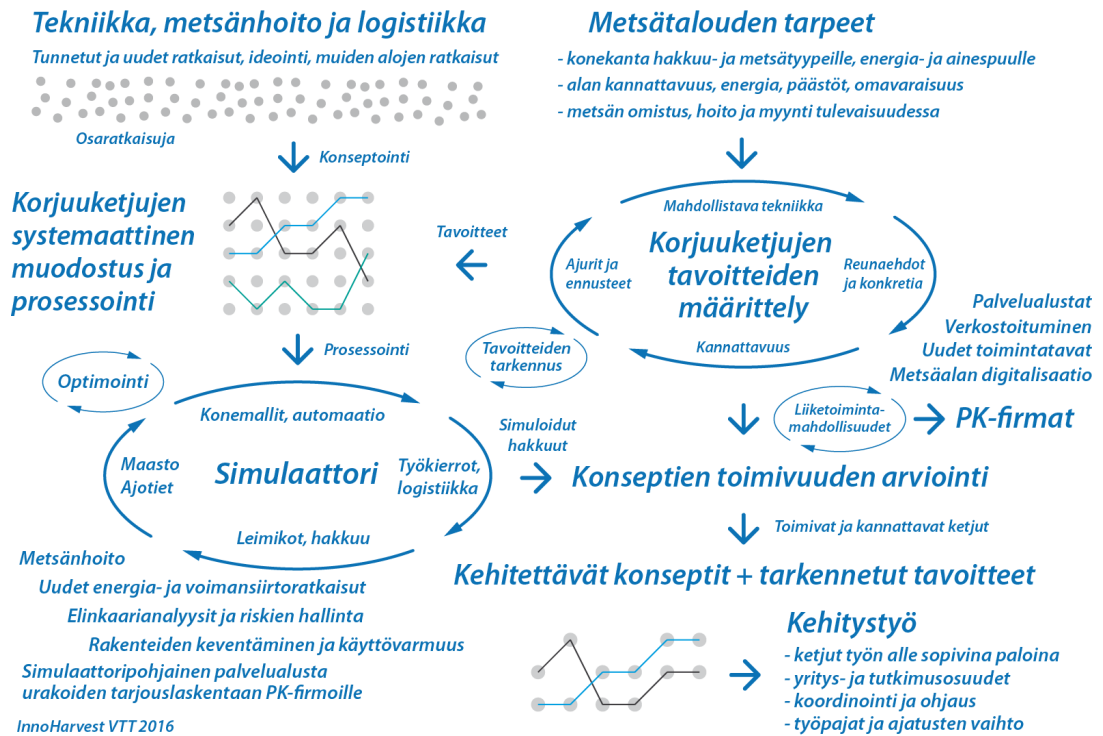
I have read and I understand the following statement:

This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.



SELVITYS

VTT-M-05053-18 | 15.10.2018



Selvitys puunhuollon muuttuviin tarpeisiin vastaavien koneketjujen ja metsänhoidon kehittämisestä

Tekijät: Jyrki Raitila, Petteri Kokkonen, Hannu Lehtinen, Pirkka Tukeva, Helena Kortelainen, Mika Haapalainen, Juha Linnekoski, Riku Pasonen

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Selvitys puunhuollon muuttuviin tarpeisiin vastaavien koneketjujen ja metsänhoidon kehittämisestä		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot VTT:n omarahoitteinen selvitys.		Asiakkaan viite -
Projektin nimi Innovative wood harvesting concepts (INNOharvest)		Projektin numero/lyhytnimi 112926 - INNOharvest
Tiivistelmä <p>Tässä yhteenvedossa on esitetty VTT:llä keväällä 2017 valmistuneen selvityksen tulokset puunkorjuun kehitystarpeisiin vastaavan tutkimusprojektin sisällön hahmottelusta.</p> <p>Hankesuunnittelun lähtökohtana on pidetty useiden alojen ja tahojen kokoamista suurempaan tutkimushankkeeseen. Hankevalmistelun aikana käydyissä keskusteluissa tuli selkeästi esille, että kaikilla aiheeseen liittyvillä tutkimusaloilla on tehty pitkään tutkimusta ja tuotekehitystä eri tutkimusorganisaatioissa ja yrityksissä. Metsäkoneet eivät ole muuttuneet mekaanisilta perusratkaisuistaan 20 vuoteen. Viimeaikainen metsäkoneiden kehitys on painottunut automaation lisäämiseen ja parantamiseen.</p> <p>Keskeiset metsäalalle muutospainetta tuovat voimat ovat: (1) metsäteollisuuden uudet investoinnit ja biotalouden uudet tuotteet, (2) laadukkaan ja määrältään riittävän puun saanti markkinoille kustannustehokkaasti myös tulevaisuudessa, (3) metsänomistajien motivointi ensiharvennushakkuihin ja metsänhoitoon, (4) ilmastonmuutos ja leudot talvet ja tästä aiheutuva puunkorjuun kausiriippuvuus, (5) puunkorjuun kannattavuus, sekä (6) Pariisin ilmastopöytäkirjan päästörajoitukset ja siitä aiheutuvat paineet kaluston kehitykseen ja vaihtoehtoisten energiamuotojen käyttöönottoon.</p> <p>Puunkorjuun kehitystarpeisiin vastaavan tutkimusprojektin sisältö ja toteutus on hahmoteltu päätasoltaan vastaamaan näihin haasteisiin.</p>		
Jyväskylässä 15.10.2018 Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Jyrki Raitila Erikoistutkija	Aki Aapaoja Asiakaspäällikkö	Juha Virtanen Tiimipäällikkö
VTT:n yhteystiedot Aki Aapaoja, projektit, puh. 040 744 4823, Aki.Aapaoja@vtt.fi Jyrki Raitila, metsänhoito, puh.040 719 5117, Jyrki.Raitila@vtt.fi Petteri Kokkonen, rakenteiden optimointi, puh. 050 375 2647, petteri.kokkonen@vtt.fi		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) vapaasti jaettava pdf-tiedosto		
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.		

Sisällysluettelo

1. Johdanto ja tutkimusprojektin tavoite	3
1.1 Johdanto.....	3
1.2 Projektin tavoite	4
2. Kehityshankkeen lähtökohdat	6
2.1 Puunkorjuun kehitystarpeet ja haasteet	7
2.2 Kehitystä mahdollistavien teknikoiden käyttöönoton arvioidut aikajänteet	9
3. Kehityshankkeen ehdotettu toteutus	12
4. Esimerkkikonsepteja	13
4.1 Kevyt autonominen kuormakone.....	13
4.2 Kaksipuominen harvesteri.....	14
4.3 Teiden liikennöitävyyden ja leimikon arviointi.....	16
4.4 Taimikonhoidon, istutusten ja risukoiden raivauksen koneellistaminen	17
4.5 Voimansiirron sähköistäminen ja vaihtoehtoiset energiamuodot	17
4.6 Korjuuketjun kokonaislogistiikan parantaminen.....	18
4.7 Liiketoimintamahdollisuuksien luominen	18
4.8 Tulevaisuustutkimus ja voimakkaan etunojan konseptitarkastelut.....	18
5. Konseptien muodostus ja toimivuuden arviointi.....	20
5.1 Simulointipohjainen suunnittelu konseptien arvioinnin työkaluna	20
5.2 Systemaattisten tuotekehitysmenetelmien ja simuloinnin hyödyntäminen konseptisuunnittelussa	21
5.3 Elinkaariajattelu koneketjujen suunnittelussa ja optimoinnissa.....	22
6. Mahdollisen tutkimusprojektin sisältö työpakettiltasolla.....	25
7. Yhteenveto ja suositukset	26
8. Lähteet.....	27

1. Johdanto ja tutkimusprojektin tavoite

Tässä yhteenvedossa on esitetty VTT:llä keväällä 2017 valmistuneen selvityksen tulokset puunkorjuun kehitystarpeisiin vastaavan tutkimusprojektin sisällön hahmottelusta.

Hankesuunnittelun lähtökohtana on pidetty useiden alojen ja tahojen kokoamista suurempaan tutkimushankkeeseen. Hankevalmistelun aikana käydyissä keskusteluissa tuli selkeästi esille, että kaikilla aiheeseen liittyvillä tutkimusaloilla on tehty pitkään tutkimusta ja tuotekehitystä eri tutkimusorganisaatioissa ja yrityksissä. Metsäkoneet eivät ole muuttuneet mekaanisilta perusratkaisuistaan 20 vuoteen. Viimeaikainen metsäkoneiden kehitys on painottunut automaation lisäämiseen ja parantamiseen.

Keskeiset metsälälle muutospainetta tuovat voimat ovat: (1) metsäteollisuuden uudet investoinnit ja biotalouden uudet tuotteet, (2) laadukkaan ja määrältään riittävän puun saanti markkinoille kustannustehokkaasti myös tulevaisuudessa, (3) metsänomistajien motivointi ensiharvennushakkuihin ja metsänhoitoon, (4) ilmastonmuutos ja leudot talvet ja tästä aiheutuva puunkorjuun kausiriippuvuus, (5) puunkorjuun kannattavuus, sekä (6) Pariisin ilmastopöytäkirjan päästörajoitukset ja siitä aiheutuvat paineet kaluston kehitykseen ja vaihtoehtoisten energiamuotojen käyttöönottoon.

Puunkorjuun kehitystarpeisiin vastaavan tutkimusprojektin sisältö ja toteutus on hahmoteltu päätasoltaan vastaamaan näihin haasteisiin.

Selvityksen perusteella projektin päätavoitteet voisivat olla:

- Kustannustehokas puunkorjuu ympärivuotiseen puunkorjuuseen sopivalla konekannalla.
 - Kausivaihtelun haittojen vähentäminen
 - Ympärivuotinen puunkorjuu
 - Korjuun tuottavuuden parantaminen
- Varmistaa laatu- ja saatavuus teollisuuden tarpeisiin hyvällä metsänhoidolla
 - Koneellinen istutus, varhaishoito ja ensiharvennus
 - Metsänhoidon ohjeet ja neuvonta

Konsepteja on esitetty tässä yhteenvedossa ajatusten herättämiseksi ja keskustelun avaamiseksi. Varsinainen konseptien kehitys ja tuotesuunnittelu on tarkoitus tehdä tutkimushankkeessa.

1.1 Johdanto

Biotalouden voimakas laajeneminen antaa koko metsäsektorille hyvät kasvun edellytykset. Suomen biotalousstrategian mukaisesti biotalouden arvon tulisi kasvaa nykyisestä noin 60 miljardista eurosta sataan miljardiin vuoteen 2025 mennessä (Suomen biotalousstrategia 2014). Nykyisestä biotalouden tuotoksesta noin 43 miljardia euroa on puupohjaista. Tämä tuotos on saavutettu käyttämällä noin 80 miljoonaa kuutiometriä puuta vuosittain. Käänteisesti voidaan ajatella, että jokainen biotaloudessa hyödynnetty miljoona puukuutiometriä lisää kansantalouden tuotosta 500 miljoonaa euroa (Asikainen 2016).

Tehostuva ja tarkasti ohjattu puuhuolto parantaa metsäteollisuuden kilpailukykyä sekä turvaa sen kasvun ja uudistumisen. Digitalisaatio, ja erityisesti sen voimistuva aalto, teollinen internet, mahdollistaa teollisuuden puuhuollon tehostamisen. Puuntuottamisen ja puunhankinnan tehostaminen tuottaa lisäarvoa puun arvoketjuun ja hyvinvointia koko laajalle arvoverkostolle. Suomalainen metsäteollisuus pohjautuu tulevilla 10-vuotisjaksolla vahvasti havupuukuidun ja energian tuotantoon biojalostamoissa, puurakentamisen vauhdittamaan puutuote-teollisuuteen sekä kuitupohjaisten pakkausratkaisujen tuotantoon. (Tehokas puuhuolto 2015)

Jotta puuhun perustuvalla biotaloudella olisi visioiden mukaiset edellytykset kehittyä, täytyy puuhuollon toimia laajenevasta kysynnästä huolimatta moitteettomasti. Puuhuoltoon katsotaan kuuluvaksi sekä puuntuotanto että puunhankinta. Tehokas puuhuolto 2025 -vision taustalla ovat seuraavat tavoitteet (Tehokas puuhuolto 2025):

- Puuraaka-aineesta saadaan enemmän lisäarvoa koko arvoketjuun.
- Puutavaralogistiikan kustannustehokkuus paranee.
- Puuntuotanto tehostuu kannattavasti.
- Puuhuoltoon tuodaan teolliselle tehokkuudelle tunnusomaisia toimintamalleja.
- Biotalous toiminta- ja kasvuedellytykset ovat kunnossa.

Kansallinen metsästrategia (2015) on asettanut tavoitteeksi vuotuisten hakkuumäärien nostamisen kestävästi nykyisestä reilusta 60 miljoonasta kuutiometristä 85 miljoonaan kuutiometriin. Puun kysynnän kasvuun kotimaassa on realistiset edellytykset, sillä vireillä on teollisuusinvestointeja, jotka toteutuessaan lisäävät puun kysyntää vuosittain 6-17 miljoonaa kuutiometriä (Salminen 2016). Myös globaalisti teollisuuspuun käyttö lisääntyy. On arvioitu, että hakkuumäärät kasvavat keskimäärin 1,5 % vuodessa, josta noin puolet tulee nopeakasvuisista istutusmetsistä (Asikainen ym. 2005).

Koneellisen puunkorjuun osuus vaihtelee voimakkaasti maittain. Eniten siihen vaikuttaa metsien lehtipuuvaltaisuus, lukuun ottamatta lehtipuuviljelmää, ja maaston vuoristoisuus. Molemmat vähentävät koneellisen puunkorjuun mahdollisuuksia ja heikentävät sen kannattavuutta. Esimerkiksi Suomessa ja Ruotsissa koneellisen puunkorjuun osuus on lähes 100 %, kun taas Keski-Euroopan vuoristoisilla alueilla kuten Italiassa se on alle 10 %. Koneellisen puunkorjuun kaksi päämenetelmää ovat kokorunkokorjuu ja Euroopassa tutumpi tavaralajimenetelmäkorjuu, jossa rungot karsitaan ja katkotaan harvesterilla kaadon yhteydessä. Ensin mainitulla menetelmällä korjataan noin 70 % kaikesta teollisuuspuusta ja jälkimmäisellä 30 % (Kare 2015). Tavaralajimenetelmästä on tullut yksi vakiomenetelmä puunkorjuussa Euroopassa, Etelä-Amerikassa ja Australiassa sen jälkeen, kun hakkuukoneet ja kuormatraktorit tulivat markkinoille 1970-luvulla. Tavaralajimenetelmän metsäkoneet kasvattavat osuuttaan koneellisesta puunkorjuusta nopeimmin Pohjoismaiden ulkopuolella ja yhä enemmän myös Pohjois-Amerikassa. Metsätalous ympäri maailman on hitaasti siirtymässä kokopuumenetelmästä tavaralajimenetelmään (Asikainen ym. 2005). Nykyisin tavaralajimenetelmän koneita, hakkuukoneita ja kuormatraktoreita, valmistetaan vuosittain 2500-3500, joista reilusti yli puolet valmistetaan Suomessa. Tavaralajimenetelmän koneiden vuotuinen myyntivolyymi on noin miljardi euroa (Kare 2015).

Vaikka tavaralajin puunkorjuukoneiden kysyntä on kasvussa, liittyy niiden valmistukseen ja käyttöön useita haasteita. Kehityksen myötä koneiden koko ja varustelu on jatkuvasti kasvanut ja nykyään modernin korjuuketjun (harvesteri + kuormatraktori) koneinvestointi on helposti lähes miljoona euroa. Korjuuolosuhteista johtuen keskimääräinen vuotuinen koneiden käyttöaika on Suomessa kuitenkin vain 2400 tuntia. Vertailun vuoksi todettakoon, että Etelä-Amerikan puuplantaaseilla päästään jopa 4000 tunnin käyttöaikoihin. Suomessa puunkorjuun tuottavuus vaihtelee voimakkaasti riippuen leimikosta ja vuodenajasta. Tämä heijastuu suoraan koneyritysten vuotuiseseen liikelukemaan, joka on viime vuosina ollut joko tappiollinen tai vain niukasti positiivinen (Jaakkola 2015). Yhtenä suurimpana syynä heikkoon kannattavuuteen on puunkorjuun kausivaihteluiden asettamat haasteet.

1.2 Projektin tavoite

Tämän VTT:n sisäisen selvityksen tavoitteiksi asetettiin tausta- ja esitysmateriaalin kokoaminen sekä kehitysprojektiehdotuksen laatiminen kansallisen hankkeen käynnistämiseksi, jossa kehitettäisiin innovatiivisia puunkorjuukonsepteja.

Projektiehdotusta laadittaessa käytiin katsauksena läpi metsäalaa, puunkorjuuseen ja koneellistamisen eri näkökulmiin liittyviä selvityksiä ja raportteja. Kenttää katsottiin laajasta

näkökulmasta ja kehityksen aikajänne asetettiin 2025 saakka, mihin tässä projektiehdotuksessa reflektoitavat Metsätehon (Tehokas puuhuolto 2025) ja Sitran (Kierrolla kärkeen - Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016-2025) selvityksetkin ulottuvat. Mukaan otettiin myös lyhyen aikajänteen kehitysaskelia, joilla saadaan myös välittömiä hyötyjä teollisuudelle.

Tehokas puuhuolto 2025 -vision ja T&K-ohjelman laatimisesta vastannut työryhmä listasi joukon puunkorjuun kehityskohteita (Tehokas puuhuolto 2025):

- Puuntuotannon lisääminen
- Kustannustehokas metsänkäsittely
- Metsänhoidon koneellistaminen
- Puusto- ja olosuhdetiedot
- Big Data
- Pääöstukijärjestelmät
- Standardit
- Sähköiset oppimisympäristöt
- Sähköinen palveluportaali
- Puun tulo markkinoille
- Hinnoittelu- ja mittausmenetelmät
- Automaatio ja robotiikka
- Raaka-ainetehokkuus ja allokaatio
- Arvoketjut
- Pääomatehokkuus
- Logistiset ratkaisut
- Yrittäjyys
- Korjuun ja kuljetusten ohjaus
- Energiapuun tuotantoketjut
- Korjuu- ja kuljetustekniikat
- Liikenneinfra

Edellä lueteltuja puuhuollon kehityskohteita pidettiin lähtökohtana määritettäessä teollisuuden ja puunhankinnan kiireellisimpiä kehitystarpeita. Sidosryhmäkeskusteluissa tuli voimakkaasti esille seuraavat asiat: Puunkorjuun kausivaihtelun vähentäminen (maaston ja metsäteiden kantavuus sekä korjuuvaurioiden välttäminen), metsänhoito (metsänuudistamisen sekä raivauksen ja taimikonhoidon koneellistaminen), suurten lehtipuiden korjuu (haastava runkorakenne), kaukokuljetus (monikäyttöratkaisut) ja korjuukoneiden energiatalous.

Taustamateriaaleihin tutustumisen ja useiden VTT:n sisäisten ideointipalaverien jälkeen päätettiin asettaa projektiehdotuksen päätason tavoitteet alla olevan listan mukaan.

Projektin päätavoitteet ovat:

1. Kustannustehokas puunkorjuu ympärivuotiseen puunkorjuuseen sopivalla konekannalla.
 - a. Kausivaihtelun haittojen vähentäminen
 - b. Ympärivuotinen puunkorjuu
 - c. Korjuun tuottavuuden parantaminen
2. Varmistaa laatuapuun saatavuus teollisuuden tarpeisiin hyvällä metsänhoidolla.
 - a. Koneellinen istutus, varhaishoito ja ensiharvennus
 - b. Metsänhoidon ohjeet ja neuvonta.

2. Kehityshankkeen lähtökohdat

Metsäala on ollut viime aikoina paljon näkyvillä mediassa ja metsäalan eri tahot ovat julkaisseet paljon selvityksiä, joissa on nostettu esille muutosten asettamia kehitystarpeita puunkorjuuketjuille. Ilmastomuutoksen mukanaan tuomat leudot talvet vaikeuttavat puunkorjuuta raskailla koneilla koska roudan puuttuessa maasto ei kanna koneita. Pariisin ilmastopöytäkirja asettaa merkittäviä päästörajoituksia, joihin täytyy alkaa varautua raskaan tavaran kuljetuksissa ja työkoneissa. Metsäteollisuuden uudet investoinnit ja biotalouden kasvu lisäävät tulevaisuudessa puun käyttöä ja laadukkaan puun saatavuus varmistaa Suomen teollisuuden kannattavuuden tulevaisuudessaakin.

Metsäkoneiden kehitys on ollut perinteisesti valmistajalähtöistä, eikä konevalmistajilla ole välttämättä halua ottaa riskiä kehittää metsäkoneita vaikeammin ennakoitaviin, pidemmän aikajänteen muutoksiin vastaaviin tarpeisiin. Metsäalaa voidaan kehittää kokonaisvaltaisesti määrittelemällä kehitystavoitteet yhdessä eri tahojen kanssa, ja katsomalla ajureita, reunaehtoja, kehitystä mahdollistavia uusia tekniikoita ja logistiikkaketjua kokonaisuutena, sekä huolehtimalla hyvästä metsänhoidosta.

Ehdotetun tutkimusprojektin lähtökohtia on esitetty seuraavassa kuvassa.



Ylätason mahdollisuudet

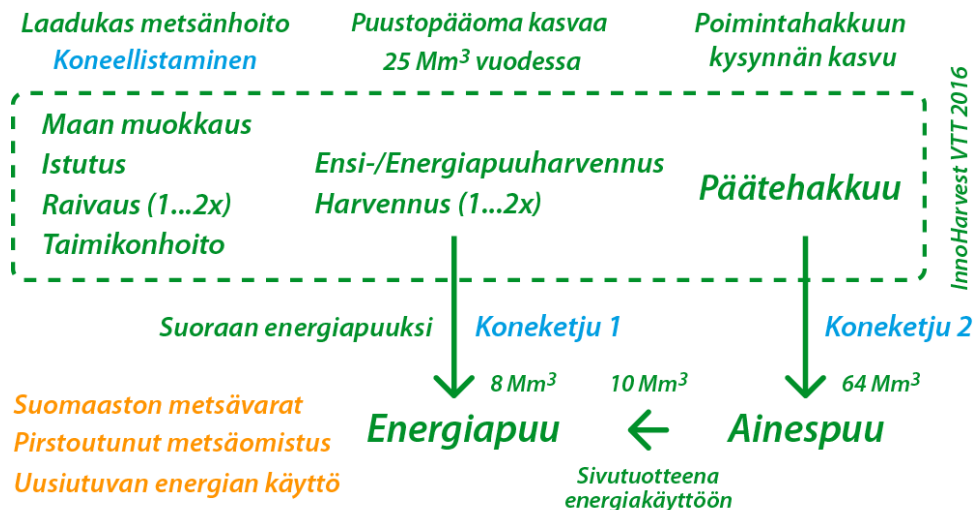
Tehokas puunkorjuuketju Laatu puun saatavuus → Metsä- ja biotalouden kannattavuuden parantaminen → Metsäteollisuuden ja Suomen viennin kasvu

InnoHarvest VTT 2016

Kuva 1. Tutkimusprojektin lähtökohdat. Eri tahojen kokemukset, näkemykset ja tarpeet on tarkoitus käsitellä projektin alkuvaiheessa ja määrittellä yhdessä projektin kehitystavoitteet ja reunaehdot.

LUKE (ent. Metla) on selvittänyt Suomen puuvirrat ja hakkuiden kasvupotentiaalin kattavasti [Suomen puuvirrat 2013¹, LUKE]. Suomen metsänomistus on pirstoutunut verrattuna esim. Ruotsiin. Nykyiset puuvirrat, sekä mahdollisuudet ja haasteita hakkuiden kasvattamisessa on esitetty seuraavassa kuvassa.

¹ http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2014/vsk14_Suomen_puuvirrat_2013.pdf



Tarpeiden tunnistus → Tarpeita vastaava konekanta

Kuva 2. Nykyiset puuvirrat [Suomen puuvirrat 2013, LUKE], sekä ja mahdollisuuksia ja haasteita hakkuiden kasvattamisessa.

Pääosa Suomen vielä hyödyntämättömistä metsävaroista on nuorissa metsissä ja turvemailla. Energiapuun osuus on kasvanut tasaisesti viime vuosiin asti, vaikkakin sen määrä on pieni ainespuuhun verrattuna. Energiapuun käyttöön vaikuttaa mm. vaihtoehtoisten energialähteiden hinta, sähkön hinta, tuet, verot ja EU direktiivit. EU määritteli osaltaan linjastaan energiapuun kestävyyskriteereihin loppuvuonna 2016, mikä selkeyttäne myös energiapuun korjuun kehittämistä. Biotalous uusien tuotteiden ja metsäteollisuuden uusien laitosinvestointien odotetaan kasvattavan puun tarvetta tulevaisuudessa. Puuta korjataan Suomessa paljolti yhdellä koneketjulla toimivien yksityisyritysten toimesta. Uusiutuvan energian käyttö ja EU-tasoiset CO₂-päästötavoitteet vaikuttavat merkittävästi raskaan liikenteen ja työkalujen käyttöön tulevaisuudessa. Uusiin säädöksiin varautuminen ja puunkorjuun kannattavuuden parantaminen ovat keskeisessä roolissa ehdotetussa tutkimusprojektissa.

2.1 Puunkorjuun kehitystarpeet ja haasteet

Puunkorjuuketjun haasteita ja kehitystarpeita eri hakkuu- ja maastotyypeillä sekä puuston kehitysluokilla on esitetty koottuna seuraavassa kuvassa. Nykyiset koneketjut soveltuvat hyvin päätehakkuisiin ja varttuneen puuston harvennuksille kantavassa maastossa. Usealta taholta on esitetty tärkeimpänä tarpeena kehittää pehmeään maastoon soveltuva, kustannustehokas ja kausivaihtelusta riippumaton konekanta. Metsäautoteiden kattavuus, kantavuus ja kunnossapito vaikuttavat puunkuljetukseen sekä metsäkoneiden siirtoihin. Nykyiset suurimmat metsäkoneet alkavat olla metsäautoteiden kantavuuden rajoilla (metsäkone + lavetti). Istutus, taimikonhoito ja raivaus olisivat selkeitä koneellistamista odottavia kehityskohteita. Myös ensiharvennuksen kustannustehokkuutta tulisi oleellisesti parantaa ja uusia konekonsepteja kehittää, jotta se olisi entistä houkuttavampi työlaji metsänhoidossa.

Hakkuutapanumerointi (Tapio) vs. puuston kehitysluokat

Hakkuutapa		Puuston kehitysluokat									Haaste/kehitystarve metsänhoidon (Me) maaston (Ma) ja/tai koneellistamisen (Ko) kannalta
No	Nimitys	A0 - alue	S0 - siemenpuu- metsä	T1 - pieni taimikko	T2 - vartunut taimikko	O2 - nuori kasvatus- metsä	O3 - vartunut kasvatus-metsä	O4 - uudistuskypä metsä	O5 - suojuspuu- metsä	ER - erikäsrahen- teinen metsä	
	Maan muokkaus										Tehdään jo koneellisesti, ei suurta kehitystarvetta tällä hetkellä. Me: Lannoitus
	Istutus										Ko: Kustannustehokas istutuskone puuttuu, vain muutama prosentti tehdään koneella, Me: lannoitus
	Raivaus										Ko: Raivauksen koneellistaminen
	Taimikonhoito										Me: Puut alle 3 m, T1 raivauksessa liiat luonnontaimet ja lehtipuut pois, T2 myös ylitteävät havupuupusikot
1	Ylispuiden poisto										
2	Ensiharvennus										Me: Mitä nopeammin kehitetään harvennukseen tehokkaampia korjuutapoja sen parempi
3	Harvennus										Me: harvennusvelka, Ko: kevyt konekanta harvennukseen
306	Yläharvennus										
4	Kaistalehakkuu										
5	Avohakkuu										
6	Verhopuuhakkuu										
7	Suojuspuuhakkuu										
8	Siemenpuuhakkuu										
9	Erikoishakkuu										
13	Pienaukkohakkuu										
14	Poimintahakkuu										Me/Ko: Mikäli jatkuva kasvatus yleistyy, tarvitaan uusia korjuumenetelmiä

Nykyinen kalusto

lyhyen aikavälin kehitys

pidemmän aikavälin kehitys

koneellistaminen

	Nykyinen kalusto
	lyhyen aikavälin kehitys
	pidemmän aikavälin kehitys
	koneellistaminen

Hakkuutapanumerointi (Tapio) vs. maaston tyyppi (suunnistus)

Hakkuutapa		Maaston tyyppi								Haaste/kehitystarve metsänhoidon (Me) maaston (Ma) ja/tai koneellistamisen (Ko) kannalta
No	Nimitys	kaillomaasto	haju-suppamaasto	suomaasto	kangasmaasto	ranta-dynimaasto	vuori-turtumaasto	manne-mainen maasto		
	Maan muokkaus									Ma/Ko: suo- ja rinnemaastoon sopiva kustannustehokas konekanta
	Istutus									Ma/Ko: suo- ja rinnemaastoon sopiva kustannustehokas konekanta
	Raivaus									Ma/Ko: suo- ja rinnemaastoon sopiva kustannustehokas konekanta
	Taimikonhoito									Ma/Ko: suo- ja rinnemaastoon sopiva kustannustehokas konekanta
1	Ylispuiden poisto									
2	Ensiharvennus									Me: harvennusvelka, Ko: kevyt konekanta harvennukseen, Ma: pehmeän maaston ja kesäkelin koneet
3	Harvennus									Me: harvennusvelka, Ko: kevyt konekanta harvennukseen, Ma: pehmeän maaston ja kesäkelin koneet
306	Yläharvennus									
4	Kaistalehakkuu									
5	Avohakkuu									
6	Verhopuuhakkuu									
7	Suojuspuuhakkuu									
8	Siemenpuuhakkuu									
9	Erikoishakkuu									
13	Pienaukkohakkuu									
14	Poimintahakkuu									Ma/Ko: suo- ja rinnemaastoon sopiva kustannustehokas konekanta

	Nykyinen kalusto
	lyhyen aikavälin kehitys
	pidemmän aikavälin kehitys
	koneellistaminen

Oikein kallioisilla paikoilla ei hakata lainkaan. Tuntureilla lähellä puurajaa ei hakata lainkaan.

Kuva 3. Puunkorjuuketjun haasteita ja kehitystarpeita eri hakkuu- ja maastotyypeillä sekä puuston kehitysluokilla.

Lisäksi eri **sidosryhmien tarpeita** listattiin puuhuollon näkökulmasta seuraavasti:

1. Metsäteollisuusyritykset

- puunsaannin turvaaminen
- edullinen raaka-aine ja hankintakustannusten ennustettavuus
- oikeanlaisen (puutavaralajit) ja laadukkaan raaka-aineen saannin turvaaminen
- raaka-ainekustannusten pienentäminen (tai ainakin kustannusten nousun ehkäisy)
- sivutuotteiden tehokas käyttö
- metsänomistajien aktivointi: metsänhoitomallit, joissa puuntuotos ei ykkösprioriteetti – mahd. suojelupainotus, muttei täysi suojelu

2. Puuta käyttävä energiateollisuus

- edullinen raaka-aine ja sen jatkuva saatavuus
 - eri polttoainelajien saatavuus
 - polttoaineen laatu
 - oikea varastointi
 - energiapuun korjuun kestävyden varmistaminen
3. Puunkorjuuryitykset (mukaan lukien kuljetus)
- puunkorjuun tuottavuuden parantaminen ja kustannusten alentaminen
 - laajan olosuhdekirjon hallitseminen yhdellä peruskalustolla – käyttöaste korkealle
 - kantavuuden parantaminen
 - ylimääräisten koneiden siirtojen minimoiminen
 - puunkorjuun kausiluonteisuuden vähentäminen
 - korjuun kannattavuuden parantaminen
 - korjuuta helpottavan teknologian kehittäminen
 - osaavat metsäkonekuljettajat (opastavat koneet)
4. Metsäkonevalmistajat
- lisää kysyntää metsäkoneille (uusille sovelluksille riittävät markkinat)
 - edullisempia ja kevyempiä koneratkaisuja
 - automaation lisääminen
 - energiatehokkuuden parantaminen
 - tiedonsiirron nopeutuminen – laserkeilaus ja GPS-data yhdistettynä voi mahdollistaa autonomiset metsäkoneet
 - virtuaalitekniologia ja täydennettytodellisuus puunkorjuun tueksi (poistettavat puut harvennushakkuussa, ajoreittisuunnittelu metsäkuljetuksessa)
5. Metsänomistajat
- kysyntää puulle tyydyttävään markkinahintaan
 - vaihtoehtoja puunkorjuutapoihin; jatkuva kasvatus, osittainen suojeleminen, ”pehmeät korjuutoimet”
 - neuvontaa, aktivointia ja opastusta aktiiviseen metsänomistukseen ja -hoitoon
 - korjuuvaurioiden vähentäminen, ”kevyemmät” metsänkäsitteilymenetelmät
6. Julkiset organisaatiot
- ajan tasalla olevat metsävaratiedot ja metsätase
 - kestävä hakkuusuunnitelma
 - teollisuuden markkinatilanne
 - puun hintatiedot ja korjuukustannukset
 - mahdolliset tuet ja ohjaustoimet
7. Yksityiset metsäpalveluyritykset
- metsänhoitoyhdistyksiin kuulumisen vapaaehtoisuus, joten yrittäjyyttä
 - metsäpalvelut
 - avoin data – nopeutunut tiedonsiirto
 - kilpailutukset
 - metsänarvioinnit
 - työmaasuunnittelu

2.2 Kehitystä mahdollistavien tekniikoiden käyttöönoton arvioidut aikajänteet

Seuraavassa kuvassa on koottu metsäkoneiden ja raskaan maantiekuljetuskaluston kehitystä mahdollistavia tekniikoita jaoteltuina lyhyelle, keskipitkälle ja pitkälle aikajänteelle, jolloin tekniikat olisivat sovellettavissa puunkorjuuketjun kehittämiseen.

Aikajänne 2 v - olemassaolevan tekniikan parantaminen

paikkatiedon hyödyntäminen dronet + konenäkö maaston pinnanmuoto ja puuston paikkatieto monitorointi
 IoT + metsävaratieto -> analysoitu tieto käyttöön Konenäkö -> puiden paikoitus ja luokittelu koekäyttöön
 aloittavien kuljettajien koulutus simulaattoreilla: Voimansiirron sähköistys, hybridiratkaisut
 maaston kantavuuden vaikutus (maaperämallit simulaattoreihin....) Koneiden keventäminen ja autonominen operointi

Aikajänne 5 v - kehitetyt maltilliset ratkaisut koekäytössä

metsänomistajat ovat motivoituneet ensiharvennuksiin, hyödyntämään metsänhoidon asiantuntijapalveluita ja hoitamaan metsäomaisuuttaan, esim. kätevästi verkon kautta.

kävelevä metsäkone + kevyt ajokone sähkö- ja hybridikäytöt Kausivaihtelun vähentäminen / pienet pintapaineet
 Metsävaratiedot käytössä vaihtoehtoinen ratkaisu korjuuketjulle Hakkuusuunnitelma optimoidaan puiden kuvauksen ja tunnistuksen jälkeen sitella
 Sähköinen puukauppa (digitalisaatio)
 Biopolttoaineet Clean energy Konenäkö -> puulajien ja tunnistus ja luokittelu koekäytössä
 Ajomukavuus ja ergonomia mukana työkohteissa monitorointi ennustaa ongelmia, huollot osataan ajoittaa hyvin

Aikajänne ...2025 - kehitetyt uuden tekniikan ratkaisut koekäytössä

metsänomistajille on vakiintunut tapa hoitaa metsää aktiivisesti ja metsän tilaa ja kasvu-/tuottoennustetta voi seurata 'reaaliajassa' huoltotarpeet osataan ennustaa luotettavasti, seisokit harvinaisia, kevyt ja vähäpäästöinen kalusto kestää ja tehoa riittää

Polttokennot, akut tehölähteenä Autonomiset työkoneet koneiden käyttöaste lähestyy 24/7
 Päästöt EU-tavoitteiden tasolla kesäkelin koneet käytössä, maastoa rasitetaan vain vähän

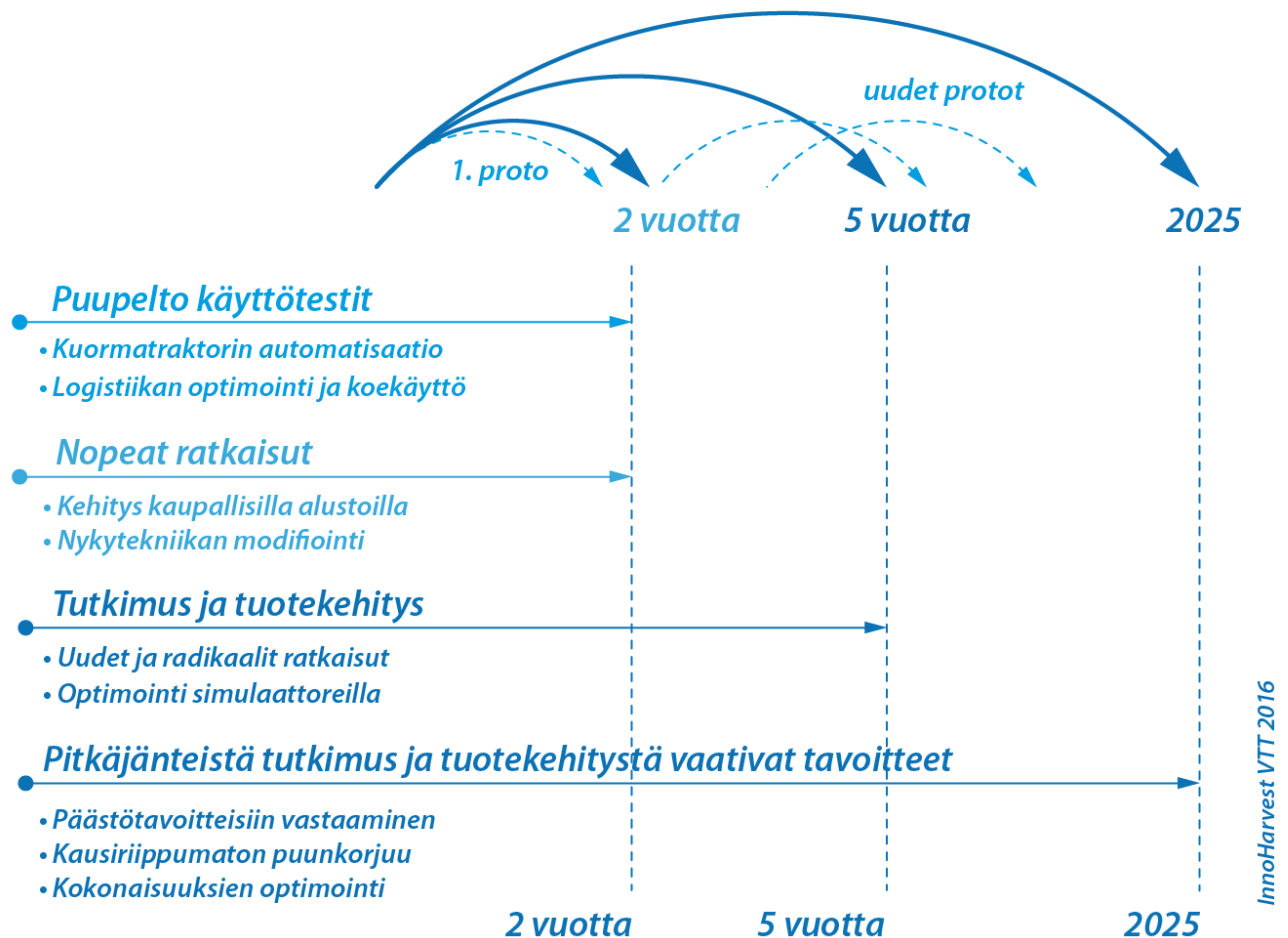
kuljettajaa opastavat järjestelmät (maaston kulkukelpoisuus, optimoitu eteneminen ja reitti) Moving towards zero-emission vehicles
 Urakoitsijoiden toiminnan kannattavuus on hyvällä tasolla, ala on muodikas ja Suomi tunnetaan maailmalla metsäalan huippumaana

Kuva 4. Metsäkoneiden kehityksen mahdollistavia tekniikoita jaoteltuina kolmelle aikajänteelle, joilla tekniikoiden on arvioitu olevan sovellettavissa puunkorjuuketjun kehittämiseen.

Kehitystyön arvioidut aikajänteet on esitetty kuviona seuraavassa kuvassa. Projektissa on tarkoitus tarkastella sekä nopeasti käyttöönotettavia ratkaisuja, että pidemmällä aikajänteellä tapahtuviin muutoksiin kehitettäviä ratkaisuja. Esim. Metsätehon Tehokas puuhuolto – selvityksen aikajänne on asetettu vuoteen 2025, ja sama vuosi 2025 on otettu tämän ehdotetun tutkimushankkeen pidemmän aikavälin kehityksen aikajänteeksi.

Kehityksen aikajänne

Nopea aloitus konkreettisella kenttäkokeella, tutkimuksella varaudutaan tunnistettaviin tarpeisiin 2025 saakka



Kuva 5. Kehityksen aikajänneet kuviona. Projektissa on tarkoitus tarkastella sekä nopeasti käyttöönotettavia ratkaisuja, että pidemmällä aikajänneellä tapahtuviin muutoksiin kehitettäviä ratkaisuja.

3. Kehityshankkeen ehdotettu toteutus

Projektin mahdollinen toteutus on esitetty kaaviokuvana seuraavassa kuvassa. Osapuolien suuri määrä, metsäalan suuri merkitys Suomen taloudelle, sekä ajavien tekijöiden ja tavoitteiden moninaisuus edellyttää kehitystavoitteiden ja reunaehtojen huolellista määrittelyä projektin edetessä tehtävän työn ja päätöksenteon taustaksi. Projektin alkuvaiheessa kannattaa varata riittävästi aikaa korjuuketjujen ja metsänhoidon tavoitteiden ja reunaehtojen määrittelyyn esim. työpajoissa tehtäväksi.



Kuva 6. Kaaviokuva projektin mahdollisesta toteutuksesta. Osapuolien suuri määrä, metsäalan merkitys Suomen taloudelle ja ajureiden sekä tavoitteiden moninaisuus edellyttää kehitystavoitteiden ja reunaehtojen huolellisen määrittelyn projektissa tehtävän kehitystyön ja päätöksenteon taustaksi.

4. Esimerkkikonsepteja

VTT:llä hahmoteltiin puunkorjuuseen esimerkkikonsepteja keskustelujen ja projektin hahmottelun pohjaksi. Esimerkkikonsepteja eri teemoilla on esitetty yleiskuvana seuraavassa kuvassa. Nykyinen yksioteharvesteri todettiin hyväksi, mutta puun juonto koettiin keskeisenä kehityskohteena. Nykyinen kalusto on suunniteltu päätehakkuihin ja raskaana vaatii kantavan maaston. Harvennushakkuihin sekä raivaukseen ja istutukseen soveltuva, kevyt, kustannustehokas ja autonominen kalusto vastaisi tarpeisiin, joihin nykyinen raskas kalusto ei ole täysin tarkoituksenmukainen.

Puunkorjuuketjujen esimerkkikonsepteja eri painotuksilla

- Tavoite on saada puu jossain muodossa jatkojalostukseen tai energiakäyttöön.
- Tavoitteen voi toteuttaa monella eri tavalla. Hyödyt riippuvat tavoitteen painotuksesta ja reunaehdoista.
- Muodostetaan systemaattisesti konsepteja ja arvioidaan ne yhdessä määritellyjä speksejä vastaan.
- Ideointivaiheessa ei aseteta rajoituksia, jotta mahdollisesti hyviä ratkaisuja ei suljeta pois.
- Konseptien suunnittelussa voidaan ottaa esim. lyhyt, keskipitkä ja pitkä aikajänne.
- Alla esimerkkeinä muutamia muodostettuja konsepteja. Mahdollisia konsepteja kannattaa muodostaa yksittäisratkaisusta (ideat, tunnetut ratkaisut) paljon, joista sitten haetaan systemaattisesti parhaat jatko.

InnoHarvest VTT 2016

Työnimi	Painotus	Hakkuu	Katkaisu	Juonto	Pinoaminen	Kuljetus
Nykyinen	Pienet muutokset nykyiseen	Yksioteharvesteri		Kuormakone		Rekka
Puupelto	Automatisointi, logistiikkaketju	Yksioteharvesteri		Autonominen kuormakone		Rekka
Proessori	Apteeraus ja laatupuu	Yksioteharvesteri	Proessori	Autonominen kuormakone		Rekka
Yksittäisjuonto	Pehmeä maasto	Yksioteharvesteri	Proessori	Automaattinen vaijerijuonto + pinoamisrobotti		Rekka
Haketus	Puu energiaksi	Haketus		Autonominen keräys		Energiapuuksi lähelle
Massa	Puu massaksi lähialueella	Puu suoraan kuiduksi		Autonominen keräys		Jalostusyksikköön
Kävelevät koneet	Pehmeä maasto	Kevytrakenteinen harvesteri		Automaattinen juonto kevyellä laitteella		Rekka
Päästötön	Päästörajoitteisiin varautuminen	Kevytrakenteinen harvesteri, uudet energia- ja käyttöratkaisut		Automaattinen juonto kevyellä laitteella		Hajautettu jalostus, lyhyet kuljetusetäisyydet

Kuva 7. Esimerkkikonsepteja eri teemoilla ja painotuksilla keskustelun pohjaksi.

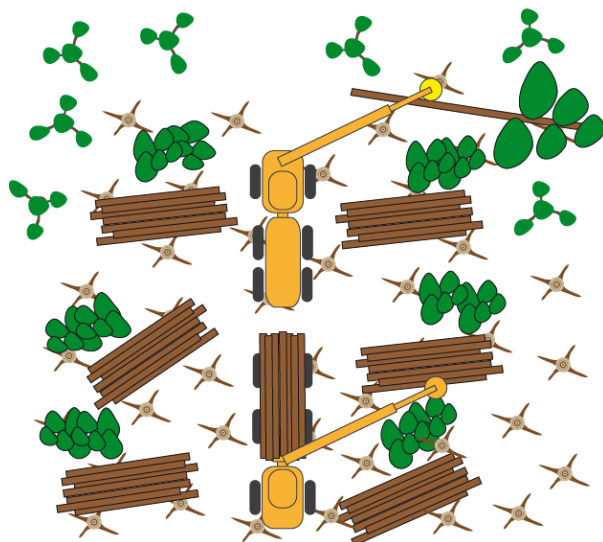
4.1 Kevyt autonominen kuormakone

Projekti voidaan aloittaa suoraviivaisella, nykyistä tekniikkaa mahdollisimman paljon hyödyntävällä kehityksellä. Kuormakoneen toteutus autonomisena mahdollistaa nykyistä kevyemmän rakenteen, koska ohjaamo voidaan jättää pois ja sijoittaa kuorma ohjaamolta vapautuvaan tilaan siten, että painopiste jakautuu akseleille tasaisemmin. Tasaisemmin jakautuva akselikuorma pienentää renkaiden pintapainetta. Teloja lisäämällä ja telojen leveyttä kasvattamalla voidaan pintapainetta madaltaa edelleen.

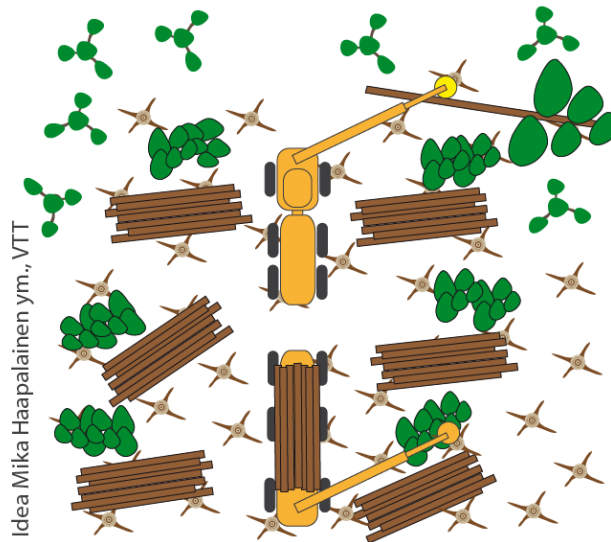
Jos korjuuketjua ajatellaan kokonaisuutena, voidaan lastaus ja purku hoitaa myös harvesterilla ja laanille sijoitettavalla, puomilla varustettavalla koneella. Ilman puomia kuormakonetta voidaan keventää edelleen. Autonominen kuormakone sallii myös ajonopeuden kasvattamisen.

Perinteisiin ratkaisuihin perustuvan metsäkoneen konfiguraation varioinnilla ja automatisoinnilla voidaan jo tuottaa merkittäviä ja nopeasti käyttöön otettavia ratkaisuja esim. leutojen talvien tuomiin haasteisiin.

Nykyinen harvesteri ja kuormakone



Nykyinen harvesteri ja autonominen kuormakone



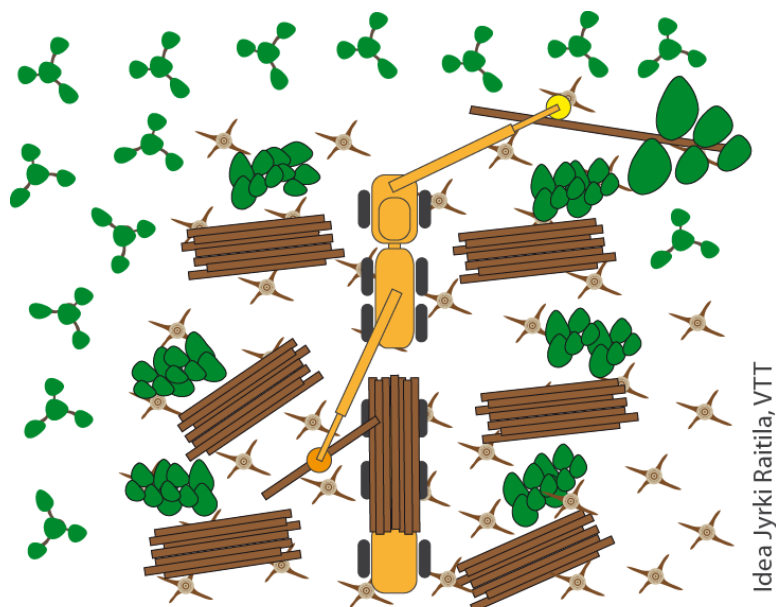
Idea Mika Haapalainen ym., VTT

Kuva 8. Periaatekuva autonomisesta kuormakoneesta ja kuorman paremmalla sijoittelulla saavutettavista, tasaisemmin jakautuvista akselikuormista, ja siten pienevistä renkaiden pintapaineista. Kevyt pintapaine mahdollistaa osaltaan kausiriippumattoman puunkuljetuksen.

Konseptia voidaan muunnella varioimalla akseleiden sijoittelua, voimansiirtoratkaisuja (perinteinen, sähköistetty), puomin sijoittelua tai jättää ohjaamo ja/tai puomi kokonaan pois. Renkaat voidaan korvata myös teloilla. Erilaisia konfiguraatioita voidaan siis muodostaa paljon esim. simuloinnilla tehtävää toimivuuden arviointia ja parhaiden yhdistelmien valintaa varten.

4.2 Kaksipuominen harvesteri

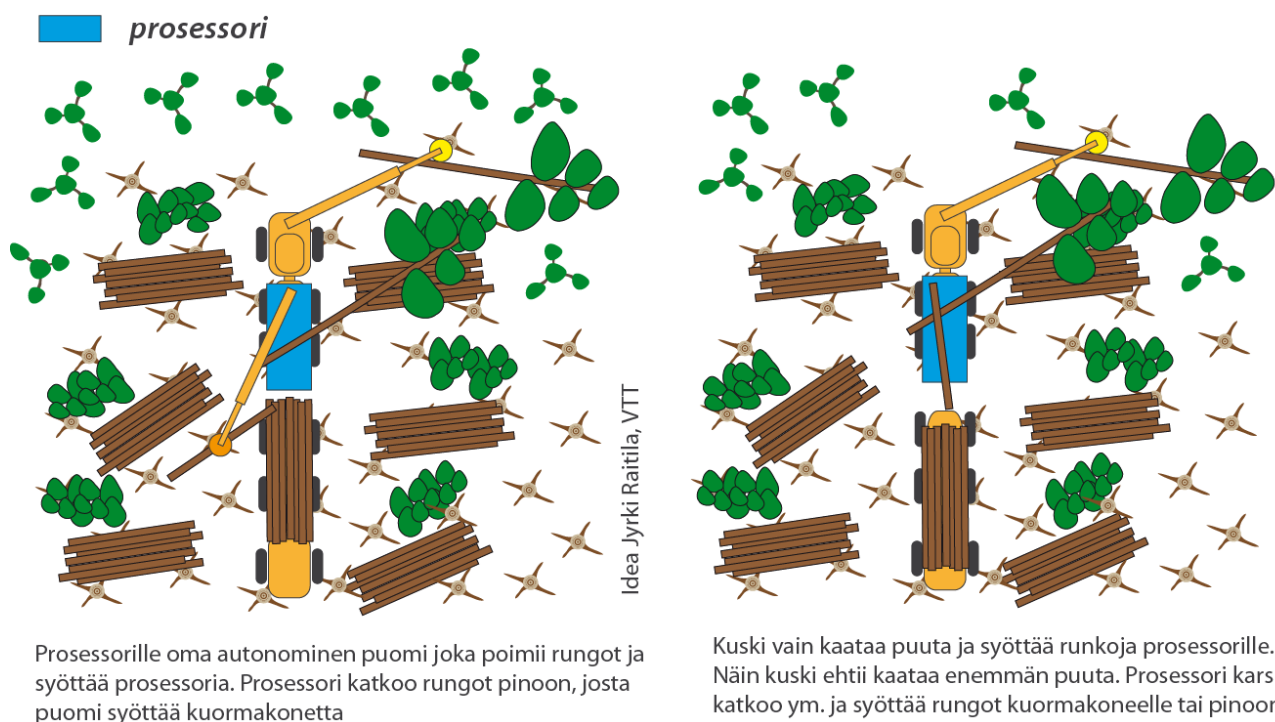
Nykyinen yksioteharvesteri on pitkälle kehitetty ja toimiva tuote. Harvesterilla kaadetaan puuta molemmilta puolilta ajouraa ja puunkorjuuta voisi tehostaa lisäämällä harvesteriin toisen, autonomisesti toimivan puomin. Näin yhdellä koneella voisi kaataa puuta samanaikaisesti molemmiin puolin ajouraa. Seuraavassa kuvassa on esitetty periaatekuva VTT:llä esimerkkinä ideoidusta kaksipuomisesta harvesterista.



Modulaarinen takapuomi, jossa hakkuupää voidaan vaihtaa kouraan.
Autonominen takapuomi kokoaa ja syöttää tukkeja kuormakoneelle.

Kuva 9. Periaatekuva kaksipuomisesta harvesterista. Takapuomi toimii autonomisesti ja syöttää tukkeja kuormakoneelle. Takapuomi voi myös kaataa puuta, jolloin yhdellä harvesterilla voidaan operoida yhtä aikaa molemmin puolin ajouraa ja tehostaa näin puunkorjuuta.

Seuraavassa kuvassa on varioitu konseptia kahdella esimerkillä. Ennen nykyaikaista yksiotteharvesteria metsäkoneissa oli erilliset toiminnot puun kaadolle ja rungon katkomiselle ja oksien irrottamiselle. Puut kaadettiin hakkuupäällä ja rungot käsiteltiin prosessorilla.



Kuva 10. Periaatekuva kaksipuomisesta harvesterista, jossa prosessori katkoo puut määrämitta. Vanhat, tunnetut ratkaisut saattavat nousta automaation myötä käyttökelpoisiksi muuttuneilla toimintavaatimuksilla.

Paluu prosessoriin ei ole välttämättä kannattava ratkaisu, mutta periaatteessa eriyttämällä jälleen hakkuu ja runkojen käsittely kuskille ehtisi kaataa enemmän puuta samassa ajassa, ja nykyaikaisen automaation ohjaamana prosessori voisi käsitellä autonomisesti rungot ja valmistella kuorman ajokoneelle. Konsepti on esitetty esimerkkinä perusidean varioinnista, millä voidaan tuottaa nopeasti paljon uusia ratkaisuyhdistelmiä. Varioimalla konseptien konfiguraatioita voidaan siis tavallaan tuottaa vahingossa käyttökelpoisiaakin ratkaisuja.

4.3 Teiden liikennöitävyyden ja leimikon arviointi

Hyödyntämällä kauko-ohjattavia lennokkeja (drone), satelliittikuvia, LIDAR-teknologiaa, tavallisia karttatietoja, tienhoitoajoneuvojen keräämää dataa (sensor data), olemassa olevaa säätietaa ja sääennusteita voidaan kehittää puutavaran kaukokuljetusta ja metsätyövaiheita helpottava järjestelmätyökalu. Sen avulla alemman tieverkon puutavaratoimituksia voidaan ohjata ja optimoida teiden liikennöitävyyden ja kulloisenkin varastotilanteen mukaan. Samalla varmistetaan raaka-aineen saatavuus teollisuuslaitoksella. Mikäli maastosta (leimikosta) voidaan kerätä ennakkoon riittävästi tarkentavia puustotietoja sekä informaatiota maaston kulkukelpoisuudesta ja kantavuudesta, voidaan puunkorjuuta merkittävästi helpottaa jo ennen korjuun aloittamista.

Työkalu tulisi kytkeä osaksi yrityksen normaalia puunkorjuun hallintajärjestelmää (Enterprise Resource Planning ERP), jolloin siitä on eniten hyötyä päivittäisissä operaatioissa ja päätöksenteossa. Sen käyttö voi vähentää turhia ajoja kohteille, joissa olosuhteet kuljetukselle tai varastokäsittelyille eivät ole otolliset. Vastaavasti leimikoilla osataan suunnitella ajourat tarkemmin ja varautua heikosti kantaviin maastonkohtiin. Tällä on paljon merkitystä pyrittäessä vähentämään puunkorjuun kausivaihteluiden aiheuttamia keskeytyksiä tai viivästyksiä puun toimituksissa. Ajoneuvojen kuljettajat voivat täydentää dataa omilla huomioillaan ja siten jatkuvasti parantaa ohjausjärjestelmää.

Nykyään käytössä olevat leimikkokartat ja työmaaohjeet perustuvat leimikosta kerättyihin keskimääräisiin puustotunnuksiin (mm. puulajisuhteet, puuston keskipituus ja keskiläpimitta sekä kokonaistilavuus) ja maastotietoihin (esim. peruskartta). Puustotiedot saadaan puolestaan yleisestä metsien inventointiaineistosta tai metsätaloussuunnitelmasta, mikäli sellainen on metsätalolle laadittu. Äärimmäisessä tapauksessa puukauppa ja leimikon suunnittelu tehdään ostajan ja metsänomistajan oman arvion perusteella 'näppituntumalla' ja/tai metsälön historiatietoon perustuen. Tällöin ei voida mitenkään etukäteen optimoida leimikosta saatavan puutavan dimensioita ja arvoa.

Leimikon etukäteisskannauksella sen sijaan saataisiin pistepilvidataa, jonka perusteella on mahdollista laatia 3D-malli kyseisen leimikon puustosta ja maastosta. Tämä puolestaan auttaisi tarkemman korjuusuunnitelman tekoa ja siitä hyötyisivät sekä puun myyjät, että ostajat:

- Skannauksella saataisiin kustakin leimikosta runkokohtaiset tiedot, jonka avulla metsänomistaja voi arvioida metsän arvoa ja seurata sen kehitystä.
- Puunostaja saisi etukäteen tarkemman tiedon korjattavista rungoista, jolloin runkojen apteeraus voidaan laskea ja suunnitella tarkasti vastaamaan esimerkiksi sahojen sahaustarpeita, sen sijaan, että käytetään keskimääräisiä apteeraustaulukoita.
- Puukauppa voitaisiin tehdä kiinteään kokonaishintaan nykyisen yleisimmän käytössä olevan kuutiohinnoittelun sijaan (tukin hinta/m³, kuidun hinta/m³). Tämä tuottaisi todennäköisesti paremman tuoton puunmyynnistä tukkiosuuden kasvaessa ja myös lisätuloa puun ostajalle, kun rungot voidaan katkoa tarkemmin kysyntää vastaavaksi. Lisäksi erikoispuut (esim. pylväät) olisivat jo etukäteen tiedossa.
- Korjuu-urakoitsija voisi käyttää kerättyä leimikkodataa helpottamaan puunkorjuuta.
- Tarkempi maastotieto auttaisi suunnittelemaan ajourat paremmin ja välttämään korjuu- ja konevaurioita.
- Skannausdata auttaisi myös tarkempien metsätaloussuunnitelmien tekoa.

Leimikon skannaus ja erilaiset konenäkösovellukset kannattaisi liittää osaksi autonomisten korjuukoneiden kehitystä. Harvesteria voitaisiin ohjata tietokoneella metsän 3D-mallin, nosturin dynaamisen 3D-mallin ja valmiin apteeraussuunnitelman mukaan. Tämä helpottaisi oleellisesti kuljettajan työtä mallin ehdottaessa poistettavat puut ja niistä tehtävän puutavaran dimensiot sen sijaan, että kuljettaja joutuu tekemään kaikki päätökset itse. Katkonnan yhteyteen olisi hyvä vielä löytää keino merkata tukit optisesti tai RFID tagilla, jolloin kukin tukki voitaisiin identifioida tarkasti. Tagin avulla sahat osaisivat suoraan erotella tavalliset pölkyt arvokkaimmista erikoistukeista. Pitemmän ajan tavoitteena voisi pitää hakkuun automatisointi niin pitkälle, että yksi kuljettaja voisi ohjata ja valvoa useampaa konetta etäohjauksella.

Leimikon skannaus voitaisiin tehdä joko maan pinnalta tai matalalta ilmast. Kiinteistöjen tilaskannaukseen kehitetty kevyt käsiskanneri Zebedee on laite, minkä soveltuvuutta kannattaisi testata. Skannaus tapahtuisi miestyönä kävelemällä leimikossa edes takaisin kyllin tiheään, jotta etäisyys (max. 30 m) ja oksien peitto ei tuota ongelmaa. Laitteessa on Hokyo UTM-30 LX viivalaserskanneri asennettuna jousen päähän. Erillistä skannausta ei tarvita vaan jouset aikaansaavat mekaanisen heilumisen ja kääntymisen laitetta liikuteltaessa. Laite ei käytä GPS:ää paikoitukseen vaan mittauksista lasketaan lopullinen 3D-pistepilvi SLAM-algoritmillä (Simultaneous Localization and Mapping). Laitteessa on inertianavigointisensorit (IMU), joita käytetään SLAM:in apuna, mutta lopullinen 3D-pistepilvi ei kuitenkaan perustu IMU:n tarkkuuteen. Vastaavaan tarkoitukseen on kokeiltu myös esimerkiksi mönkijään asennettua SLAM tarkoitukseen sopivaa 3D skanneria. Kustannustehokkaammin skannaus voitaisiin tehdä kauko-ohjattavalla lennokilla (drone) joko puiden yläpuolelta tai jopa metsikön sisältä.



Kuva 11. Kädessä kannettava Zebedee laserskanneri.

4.4 Taimikonhoidon, istutusten ja risukoiden raivauksen koneellistaminen

Näihin tarpeisiin voidaan periaatteessa vastata kevyellä, kävelevällä, autonomisella laitteella. Koneen hankintakustannuksen saaminen kyllin matalaksi kilpailemaan esim. metsurin tekemän raivaustyön kanssa on keskeinen haaste ko. tarpeiden koneellistamiselle.

4.5 Voimansiirron sähköistäminen ja vaihtoehtoiset energiamuodot

Metsäalan kannalta Pariisin ilmastopöytäkirja, siirtyminen sähköiseen kalustoon, sekä Suomen erityispiirteinä metsät, suot ym. hitaasti uusiutuvat luonnonvarat mahdollisina hiilinieluinä ja puupohjaisten biopolttoaineiden käyttö ovat puunkorjuun kannalta seurattavia ajureita.

Akkutekniikka kehittyy, mutta varsinainen läpimurto on edelleen tulossa ja akkutekniikan käyttöönotto raskaassa kalustossa on edelleen tulevaisuutta. Kondensaattoritekniikkaa käytetään jo metsäkoneissa tasaamaan tehohuippuja.

4.6 Korjuuketjun kokonaislogistiikan parantaminen

Pariisin ilmastositoumus vaikuttaa todennäköisesti merkittävästi raskaan liikenteen kaluston kehitykseen lähitulevaisuudessa. Teiden kantavuus ja kunto vaikuttavat myös merkittävästi raskaan kaluston operointiin ja puun kuljetukseen.

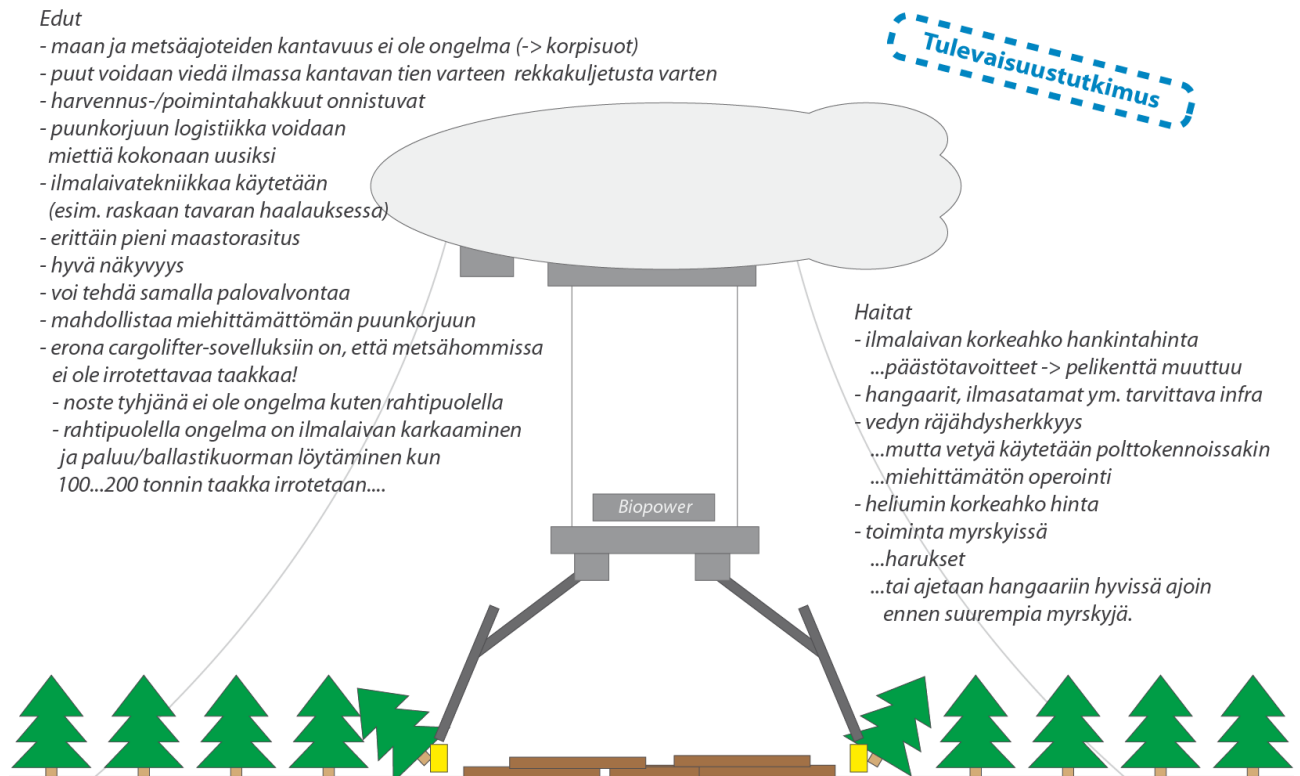
4.7 Liiketoimintamahdollisuuksien luominen

Puustotiedon, paikkatiedon ja maaston pinnanmuoto -tiedon mittaaminen, analysoiminen tiedoksi ja yhdistäminen muuhun tietoon (IoT, Big data, data fusion) mahdollistaa uuden liiketoiminnan syntymisen projektin tuloksena.

4.8 Tulevaisuustutkimus ja voimakkaan etunojan konseptitarkastelut

Tutkimusprojektin pidemmän aikajänteen kehitys ulottuu vuoteen 2025. Näin pitkällä aikajänteellä tarkastellaan usein visiota ja varaudutaan myös suuriin pelikentän muutoksiin erilaisilla skenaarioilla. Skenaarioiden ei välttämättä odoteta toteutuvan suurella todennäköisyydellä, mutta muutoksiin kannattaa varautua, koska riskit tai hyödyt saattavat olla merkittäviä, jos ennakoitu polku toteutuu. Tulevaisuuden tutkimus voi olla maltillisimmillaan tekniikan kehityksen katseella seuraamista ja tekniikan käyttöönottoa hintatason asetuttua sopivalle tasolle. Esimerkiksi akkutekniikka, drone-tekniikat, luotettava hahmontunnistus, uudet energiaratkaisut ja esim. edullinen ilmalaivatekniikka ovat tekniikoita, jotka ovat käytännön sovelluksissa aina 5...15 vuoden päässä, mutta jonkin teknisen läpimurron ansiosta tekniikka saattaa olla yllättäen käyttökelpoista.

Kemian asiantuntijoiden kanssa keskusteltiin Innoharvest-valmistelun aikana, että laboratoriossa on jo mahdollista prosessoida puuta suoraan kuiduksi ilman perinteistä sellunkeittoa. Uudet prosessit saattavat avata pidemmällä aikavälillä uusia mahdollisuuksia myös puunkorjuuseen. Puuta voidaan esim. prosessoida osin jo metsässä, tai jalostaa lähialueilla nykyisiä sellutehtaita pienemmissä yksiköissä. Keskusteluissa sivuttiin myös puun prosessointia konteissa, suorakuidutusta, jalostusta lähialueella, ja veden poistoa puusta ennen maantiekuljetusta.



Kuva 12. Esimerkki tulevaisuuteen ja tekniikan halpenemiseen nojaavasta konseptitarkastelusta.

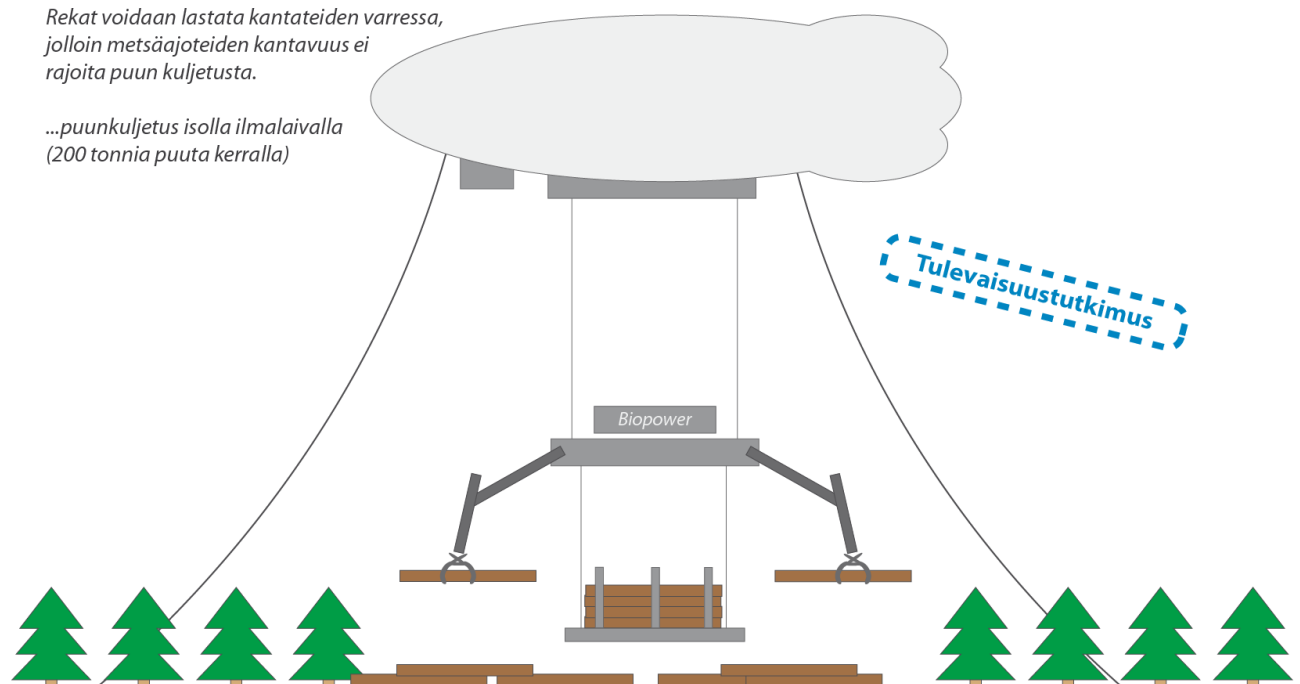
Modulaarinen ratkaisu: erilliset alustat hakkuulle, korjuulle ja rekkojen lastaukselle (kontinkäsittely)

Esim. ensin hakkuu, sitten tukkien poiminta nippuihin, ja lopuksi nippujen haalaus (ilmassa) laanille, josta rekat hakevat puut.

Tukit voidaan pinota suoraan rekkaan nostettaviksi nipuiksi tai 'konteiksi', jos myös rekkojen lastaus tehdään ilmasta käsin. Näin puunajokin tehostuu (rekan ei tarvitse tehdä kuormaa, käy vain hakemassa kuorman).

Rekat voidaan lastata kantateiden varressa, jolloin metsäajoteiden kantavuus ei rajoita puun kuljetusta.

...puunkuljetus isolla ilmalaivalla (200 tonnia puuta kerralla)



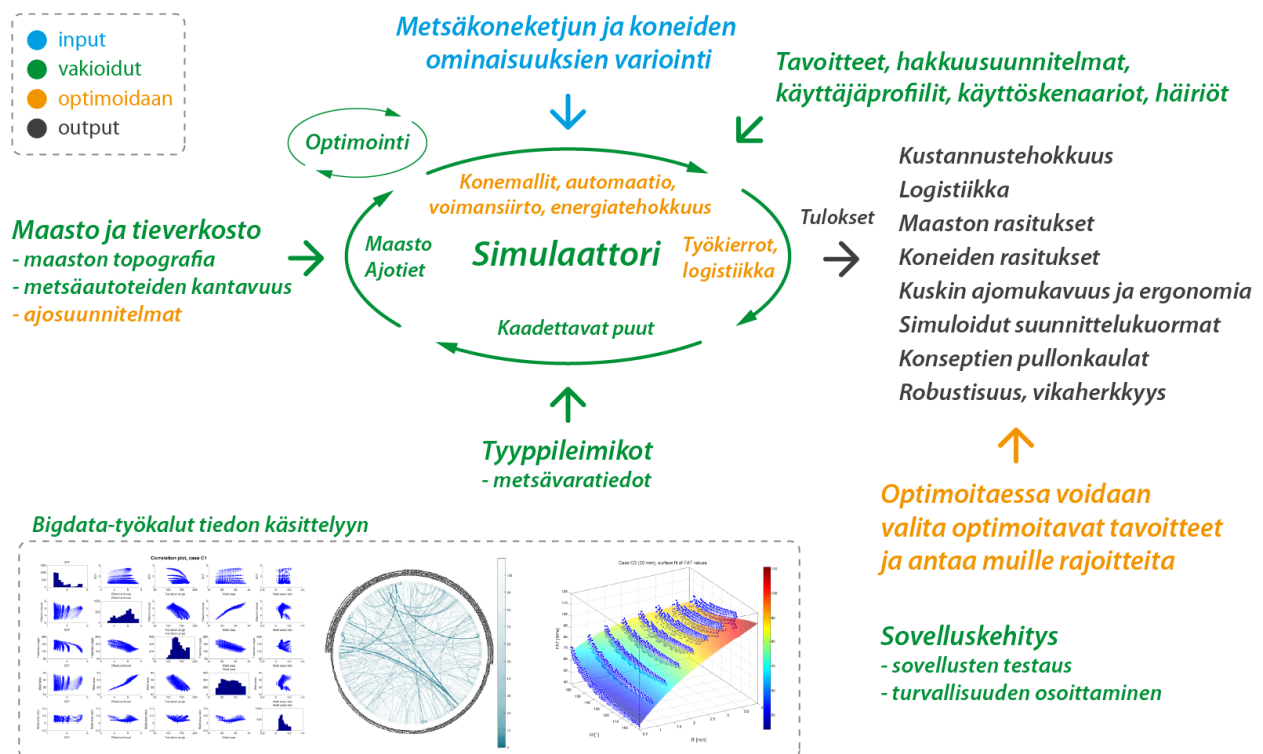
Kuva 13. Esimerkki tulevaisuuteen ja tekniikan halpenemiseen nojaavasta konseptitarkastelusta, variaatio.

5. Konseptien muodostus ja toimivuuden arviointi

5.1 Simulointipohjainen suunnittelu konseptien arvioinnin työkaluna

Kehitysprojektin alkuvaiheen näkökulmana voisi olla uusien konseptien luonnostelu nousevia tekniikoita hyödyntämällä olemassa olevien ratkaisujen rinnalla. Nykyaikainen simulointilaskenta mahdollistaa eri alojen asioiden vuorovaikutusten ja kytkentöjen arvioinnin konseptointivaiheessa. Teknisiä ratkaisuja voidaan testata virtuaalimalleilla ajamalla konsepteja eri kokoonpanoilla erilaisissa maasto, tieverkko, leimikko jne. olosuhteissa. Eri osa-alueilla on kehitetty simulointimenetelmiä, jotka voidaan yhdistää ja hyödyntää jo kehitettyjä menetelmiä korjuuketjuketjien simulointiin ja toimivuuden arviointiin kokonaisuutena. Kokonaisuuden simuloinnilla vältetään osa-optimoinnin rajoitteilta ja varmistetaan riittävän kokonaiskuvan muodostaminen päätöksenteon tueksi.

Simulointiin voidaan yhdistää myös optimointia. Simuloinnilla voidaan hakea systemaattisesti määriteltyihin olosuhteisiin parhaiten soveltuvia konsepteja. Näin voidaan arvioida suuria määriä konsepteja erilaisilla konfiguraatioilla ja suodattaa parhaimmat konseptiehdokkaat tarkempaa arviointia ja varsinaista tuorekehitystä varten. Tutkimusprojektin yksi keskeinen näkökulma voisi olla koostaa ja kehittää tällainen simulointiympäristö yhteistyössä eri tahojen kanssa. Teknisessä laskennassa on nykyisin tavanomaista ketjuttaa erilaisia ohjelmistoja vaihtelevien rajapintojen yli ja koota monimutkaisiakin simulointiympäristöjä.



Simuloinnilla voidaan käsitellä nopeasti paljon konsepteja ja maasto/leimikko-tapauksia, arvioida konseptien kustannustehokkuutta ja toimivuutta, ja valita parhaat koneketjut tuotekehitykseen.

InnoHarvest VTT 2016

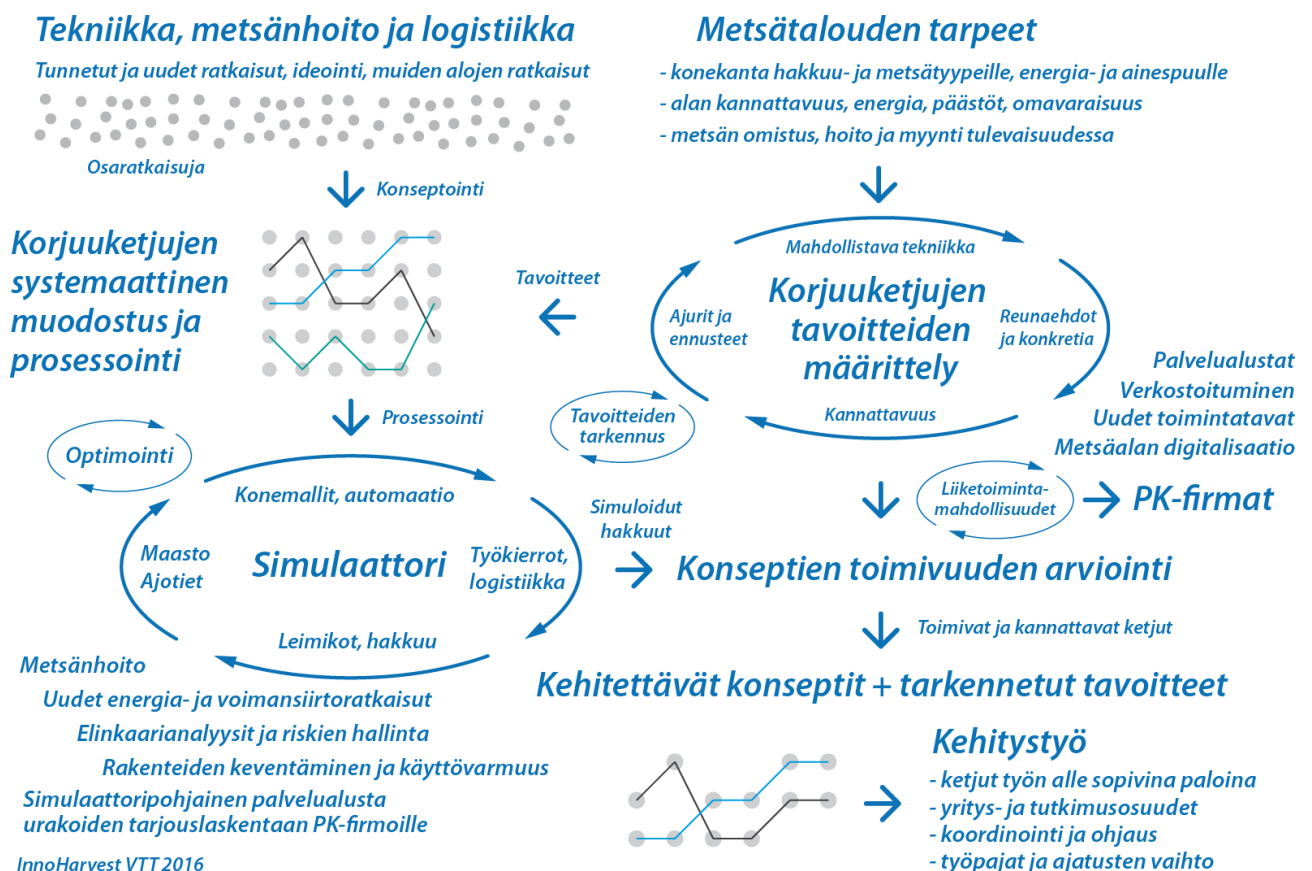
Kuva 14. Simulointiympäristö määriteltyihin tavoitteisiin ja olosuhteisiin parhaiten soveltuvien konseptien hakemiseen. Simulointiympäristöä voidaan myös laajentaa konseptien optimointiin.

5.2 Systemaattisten tuotekehitysmenetelmien ja simuloinnin hyödyntäminen konseptisuunnittelussa

Projektin alkuvaiheen kaksi päälinjaa on listattu alla ja esitetty seuraavassa kuviossa.

1. Korjuuketjujen tavoitteiden määrittely yhdessä eri tahojen kesken.
2. Ideoitavien osaratkaisujen yhdistäminen konsepteiksi ja konseptien arviointi simulaattorilla.

Tavoitteita vastaavien konseptien arvioinnin jälkeen valitaan soveltuvimmat varsinaiseen tuotekehitykseen. Työn edetessä voidaan myös identifioida liiketoimintamahdollisuuksia ja arvioida liiketoimintakonseptien toimivuutta. Simulaattorista voidaan haluttaessa kehittää myös työkalu metsäkoneurakoitsijoiden työnsuunnitteluun ja tarjouslaskentaan.

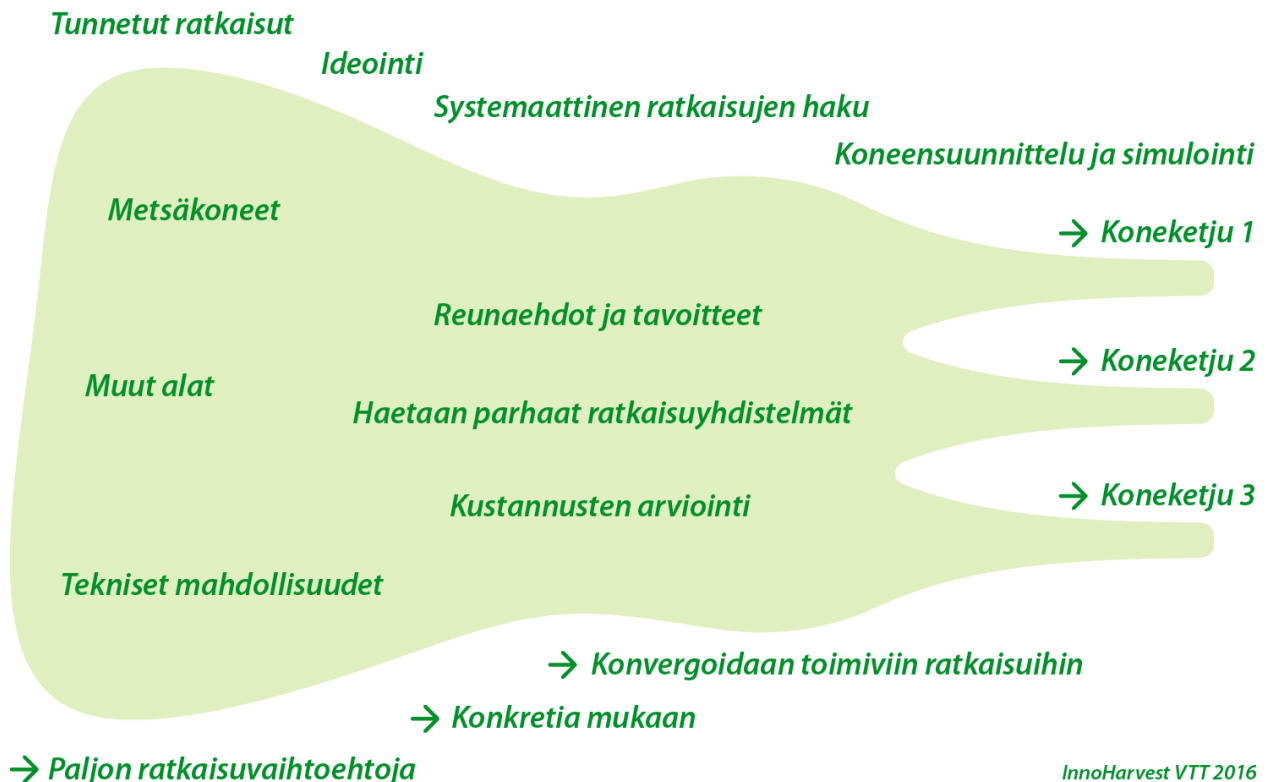


Kuva 15. Projektin alkuvaiheen kaksi päälinjaa; (1) korjuuketjujen tavoitteiden määrittely yhdessä eri tahojen kesken, sekä (2) ideoitavien osaratkaisujen yhdistäminen konsepteiksi ja konseptien arviointi simulaattorilla. Tavoitteita vastaavien konseptien arvioinnin jälkeen valitaan soveltuvimmat varsinaiseen tuotekehitykseen.

Kehitystyön edetessä tarkastellaan lisäksi uusien ratkaisujen tuomia liiketoimintamahdollisuuksia. Digitaalisen tiedon kasvava hyödyntäminen tuo uusia mahdollisuuksia sekä teknisiin ratkaisuihin, että liiketoimintaan.

Systemaattinen ratkaisujen haku tuotekehityksessä ja konseptien luomisessa on esitetty periaatekuvana seuraavassa kuvassa. Systemaattisilla tuotekehitysmenetelmillä voidaan käydä tehtävänmäärittely, ideointi, osaratkaisujen haku, kokonaisratkaisujen ja konseptien muodostus ja arviointi läpi prosessina. Systemaattisen lähestymistavan etuna on eri työvaiheiden helppo projektointi ja uusien ratkaisujen etsintä ns. harmailta alueilta. Menetelmät tavallaan pakottavat etsimään ratkaisuja myös arkiajattelun ja totuttujen ratkaisujen ulkopuolelta. Olemassa olevia ratkaisuja kannattaa hyödyntää, mutta myös uusia ratkaisuja

etsiä systemaattisesti, jolloin on mahdollista tuottaa kilpailukykyisiä ratkaisuja muuttuviin tarpeisiin.

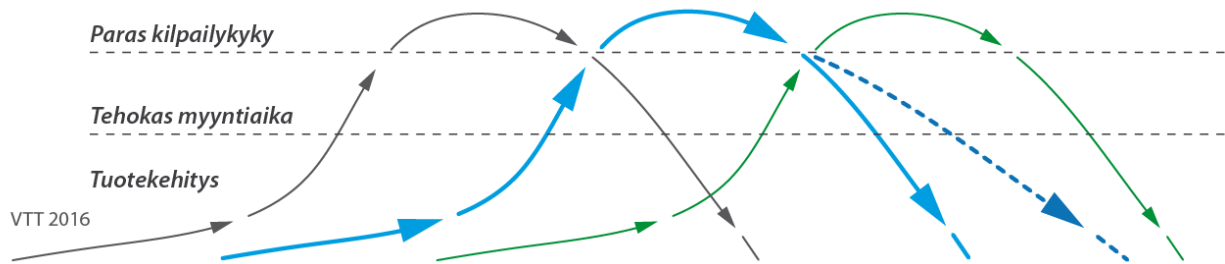


Kuva 16. Systemaattinen ratkaisujen haku tuotekehityksessä ja konseptien luomisessa periaatekuvana. Systemaattisen lähestymistavan etuna on eri työvaiheiden helppo projektointi ja uusien ratkaisujen etsintä ns. harmailta alueilta. Menetelmät tavallaan pakottavat etsimään ratkaisuja myös arkiajattelun ulkopuolelta.

5.3 Elinkaariajattelu koneketjujen suunnittelussa ja optimoinnissa

Riskien tunnistaminen, mekaaninen testaus, lujuuslaskenta, simulointi ja monitorointi tukevat tuotekehitystä ja mekaniikkasuunnittelua tuotteen elinkaaren aikana. Mittaamalla kerättävää kuormitus-, kestävyys- ja käytettävyydestä voidaan hyödyntää seuraavan sukupolven tuotteen suunnittelussa ja nykyisen kaluston elinkaaren pidentämisessä. Näitä asioita kehitetään VTT:llä muissa tutkimushankkeissa, ja tuloksia voidaan hyödyntää myös Innoharvest-projektissa esim. uusien ratkaisujen mahdollistajana ja uusiin ratkaisuihin liittyvien riskien kompensoinnissa.

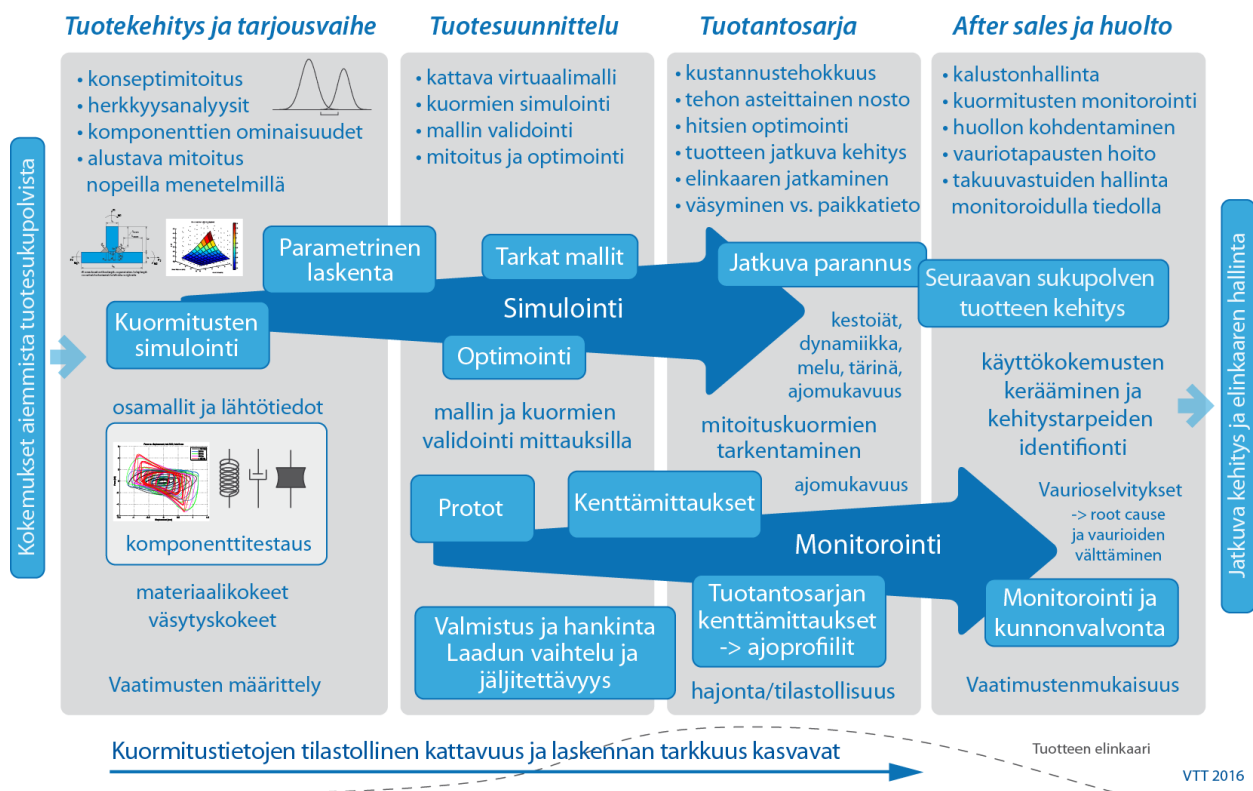
Markkinoilla/käytössä on aina kilpailukykyinen tai johtava tuote



Tuotekehitys simuloinnin ja monitoroinnin tukemana **Seuraavan sukupolven tuotteet**
Nykyiset tuotteet (lähtötilanne) **Elinkaaren pidentäminen**

Kuva 17. Perinteinen elinkaariajattelu laajennettuna simuloinnin ja monitoroinnin mahdollistamaan tuotteiden jatkuvaan parantamiseen ja elinkaaren pidentämiseen. Muissa projekteissa kehitettävää tekniikkaa ja osaamista voidaan hyödyntää ehdotetussa Innoharvest-projektissa esim. kompensoimaan riskejä kehitettävissä uusissa metsäkonekonsepteissa.

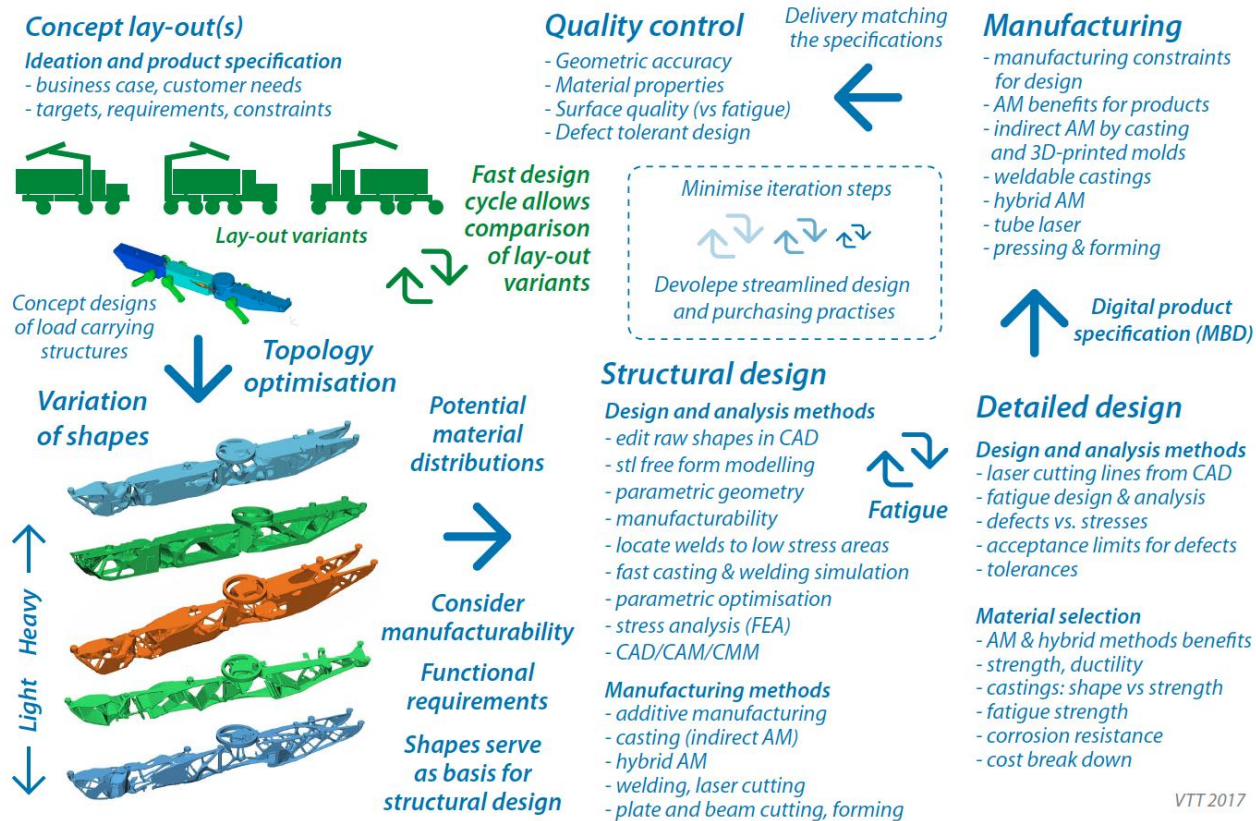
Metsäkoneiden kehitys etenee parhaiten metsäkoneita valmistavien yritysten tekemänä ja heillä on mekaniikkasuunnittelussa valmiit verkostot. Yritykset voivat hyödyntää VTT:n lujuuslaskenta-, simulointi-, optimointi-, testaus- ja kenttämittaus-, materiaali- ym. asiantuntijapalveluita oman tuotekehityksensä tukena.



Kuva 18. Lujuuslaskenta, mekaaninen testaus, simulointi ja monitorointi tukevat tuotekehitystä ja mekaniikkasuunnittelua tuotteen koko elinkaaren aikana. Kerättyä tietoa voidaan hyödyntää seuraavan sukupolven tuotteen suunnittelussa ja nykyisen kaluston elinkaaren pidentämisessä.

Seuraavassa kuvassa on hahmoteltu työkonen rungon keventämistä komponenttien sijoittelua varioimalla ja rakenteiden optimoinnilla. Rakenteiden keventäminen kantavia rakenteita optimoimalla mahdollistaa energiatehokkaat työkonet ja tuo keinoja CO2-

Design process for light weight load carrying structures



Rakenteiden keventäminen edellyttää valmistukselta korkeaa laatua, koska esim. hitsausliitokset ovat usein kriittisiä väsymiskestävyyden kannalta. Valujen käyttöä lisäämällä voidaan sijoitella hitsausliitokset matalien rasitusten alueille ja muotoilla kantavat rakenteet optimaalisemmin, ja saavuttaa näin keveitä ja kestäviä rakenteita. 3D-tulostettavien muottien ja keernojen käyttö ja epäsuora AM mahdollistaa valujen aiemman vapaamman suunnittelun, mikä tuo uusia mahdollisuuksia rakennesuunnitteluun.

6. Mahdollisen tutkimusprojektin sisältö työpakettitasolla

Puunkorjuun kehitystarpeisiin hahmotellun tutkimusprojektin leimallisina piirteinä on osapuolten suuri määrä, eri alojen osaamisen ja uusien tekniikoiden hyötyjen yhteen saattaminen, tarpeiden ja mahdollisuuksien yhteensovittaminen, sekä kehitettävien kokonaisratkaisujen toimivuuden kattava ja luotettava arviointi päätöksenteon tueksi.

Projektin alkuvaiheessa olisi tärkeää koota kokonaiskuva tarpeista ja mahdollisuuksista, sekä määrittellä yhdessä eri osapuolten kesken selkeät tavoitteet ja reunaehdot projektissa tehtävälle kehitystyölle.

Tällainen tutkimusprojekti olisi väistämättä laaja ja eri alojen kehitystä kannattaisi viedä eteenpäin itsenäisissä työpaketeissa. Kokonaisuuden koordinointi on keskeisessä asemassa laajoissa projektissa. Työpaketeissa tehtävän tutkimus- ja kehitystyön tulosten yhdistäminen ja teknisten kokonaisuuksien muodostaminen konsepteiksi edellyttää työpaketit yhdistävää tutkimustyötä ja työpajoja.

Aiheeseen liittyvää tutkimusta tehdään myös muissa projekteissa, ja näiden tutkimustulosten hyödyntämiseen tarvitaan lisäksi kommunikaatiota tutkimusprojektien välillä.

Alustavasti keskustelun pohjaksi hahmotellut mahdolliset työpaketit on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 20. Alustava hahmottelu mahdollisen projektin työpaketeista keskustelun pohjaksi.

7. Yhteenveto ja suositukset

Tässä selvityksessä on esitetty VTT:llä keväällä 2017 valmistuneen selvityksen tulokset puunkorjuun kehitystarpeisiin vastaavan tutkimusprojektin sisällön hahmottelusta.

Hankesuunnittelun lähtökohtana on pidetty useiden alojen ja tahojen kokoamista suurempaan tutkimushankkeeseen. Hankevalmistelun aikana käydyissä keskusteluissa tuli selkeästi esille, että kaikilla aiheeseen liittyvillä tutkimusaloilla on tehty pitkään tutkimusta ja tuotekehitystä eri tutkimusorganisaatioissa ja yrityksissä.

Keskeiset metsäalalle muutospainetta tuovat voimat ovat: (1) metsäteollisuuden uudet investoinnit ja biotalouden uudet tuotteet, (2) laadukkaan ja määrältään riittävän puun saanti markkinoille kustannustehokkaasti myös tulevaisuudessa, (3) metsänomistajien motivointi ensiharvennushakkuihin ja metsänhoitoon, (4) ilmastonmuutos ja leudot talvet ja tästä aiheutuva puunkorjuun kausiriippuvuus, (5) puunkorjuun kannattavuus, sekä (6) Pariisin ilmastopöytäkirjan päästörajoitukset ja siitä aiheutuvat paineet kaluston kehitykseen ja vaihtoehtoisten energiamuotojen käyttöönottoon.

Suosituksena esitämme eri tahot kokoavaa tutkimus- ja kehitysprojektia, jossa puunkorjuun koneketjuja, logistiikkaa ja metsänhoitoa katsotaan kokonaisuutena, ja jolla varaudutaan metsäalan muutospaineisiin.

Selvityksen perusteella projektin päätavoitteet voisivat olla:

- Kustannustehokas puunkorjuu ympärivuotiseen puunkorjuuseen sopivalla konekannalla.
 - Kausivaihtelun haittojen vähentäminen
 - Ympärivuotinen puunkorjuu
 - Korjuun tuottavuuden parantaminen
- Varmistaa laatu- ja saatavuus teollisuuden tarpeisiin hyvällä metsänhoidolla
 - Koneellinen istutus, varhaishoito ja ensiharvennus
 - Metsänhoidon ohjeet ja neuvonta

Tässä selvityksessä on hahmoteltu puunkorjuun kehitystarpeisiin vastaavan tutkimusprojektin mahdollista sisältöä ja toteutusta. Selvitys on tarkoitettu keskustelun pohjaksi.

8. Lähteet

Asikainen, A. 2016. Bioenergia ilmastopimuksen jälkeen - vakaa kasvu vai luova tuho? Tulevaisuuden kestävä bioenergiaratkaisut -ohjelman loppuseminaari 24.11.2015. Helsinki.

Asikainen, A., Leskinen, L., Pasanen, K., Väättäinen, K., Anttila, P. & Tahvanainen, T. 2009. Metsäkonesektorin nykytila ja tulevaisuus. Metlan työraportteja 125. Helsinki.
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp125.htm>

Asikainen, A., Ala-Fossi, A., Visala, A. & Pulkkinen, P. 2005. Metsäteknologiasektorin visio ja tiekartta vuoteen 2020. Metlan työraportteja 8. Helsinki.
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp008.htm>

Jaakkola, S. 2015. Koneyritysten kannattavuus, tulevaisuuden kehittämistoimet ja liike-toimintaohjaamo. Puunhankinnan uudet tavat ja työkalut - seminaari 5.11.2015. Helsinki.
<http://www.teollisuudenmetsanhoitajat.fi/wp-content/uploads/2015/09/Jaakkola.pdf>

Kansallinen metsästrategia 2025. 2015. Maa- ja metsätalousministeriö 6/2015. Helsinki.
<http://mmm.fi/documents/1410837/1504826/Kansallinen+mets%C3%A4strategia+2025/c8454e55-b45c-4b8b-a010-065b38a22423>

Kare, E. 2015. Puunkorjuun koneistuminen –kehityspolku. Tekesin katsaus 304/2015. Helsinki. https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/puunkorjuun_kehityspolku304_2015.pdf

Kierrolla kärkeen - Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016-2025. 2016. SITRA.
<http://www.sitra.fi/artikkelit/kierrolla-karkeen-suomen-tiekartta-kiertotalouteen-2016-2025>

Salminen, O. 2016. MMM:n IE2016 puunkäytön kehitysskenaariot ja metsiemme hakkuumahdollisuudet. TEM:n asiantuntijaseminaari 23.03.2016. Helsinki.
file:///C:/Users/jrjyrki/Downloads/2_Salminen%20Olli.pdf

Suomen biotalousstrategia. 2014. TEM. Helsinki. http://biotalous.fi/wp-content/uploads/2014/07/Julkaisu_Biotalous-web_080514.pdf

Tehokas puuhuolto 2025. 2015. Metsäteho Oy. Helsinki. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Tehokas_puuhuolto_2025_web.pdf